

Aus der Klinik für Innere Medizin, Schwerpunkt Gastroenterologie, Endokrinologie und  
Stoffwechsel

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. med. T. M. Gress

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

**„Durchführbarkeit präklinischer Sonographie bei Patienten mit Luftnot und  
Thoraxschmerz im bodengebundenen Rettungsdienst im Landkreis  
Marburg/Biedenkopf“**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der gesamten Humanmedizin

dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von:

Saskia Martina Karin Hoffmann aus Göttingen

Marburg, 2016

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg:

Gedruckt mit der Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Herr Prof. Dr. med. H. Schäfer

Referent: Herr PD Dr. med. S. Kunsch

1. Korreferent: Herr Prof. Dr. med. C. Görg

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1. Einleitung und Zielsetzung</b>	<b>1</b>
1.1 Rahmenbedingungen im bodengebundenen Rettungsdienst	1
1.1.1 Prinzipien in der Notfallversorgung	1
1.1.2 Ausbildung des Rettungsdienstpersonals	3
1.1.3 Ausstattung der Rettungsmittel	8
1.1.4 Kennzahlen im Landkreis Marburg-Biedenkopf	10
1.2 Sonographie in der Notfallmedizin	11
1.3 Arbeitsziel und Fragestellung	20
<b>2. Patientenkollektiv, Material und Methodik</b>	<b>22</b>
2.1 Allgemeine Studiendaten	22
2.2 Selektionskriterien	22
2.3 Beschreibung des Ultraschallgerätes	23
2.4 Ablauf, Algorithmus und Klassifizierung der Untersuchungsbefunde	25
2.5 Statistik und Datenverarbeitung	34
<b>3. Ergebnisse</b>	<b>36</b>
3.1 Durchführbarkeit und Befundqualität der präklinischen Notfallsonographie	36
3.2 Klinische Diagnosen des Patientenkollektivs mit Dyspnoe und/oder Thoraxschmerz	38
3.3 Befunde der Notfallthoraxsonographie	39
3.3.1 Pleuraergüsse	39

3.3.2 Eingeschränkte linksventrikuläre Funktion	42
3.3.3 Perikarderguss	42
3.3.4 Pneumothorax	43
3.3.5 Rechtsherzbelastung	43
3.4 Diagnostische und therapeutische Wertigkeit der präklinischen Ultraschalluntersuchung	44
<b>4. Diskussion</b>	46
<b>5. Zusammenfassung</b>	60
<b>6. Englische Zusammenfassung</b>	61
<b>7. Literaturverzeichnis</b>	62
<b>8. Anhang</b>	70
8.1 Erfassungsbogen	70
8.2 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	71
8.3 Abkürzungsverzeichnis	73
8.4 Verzeichnis der akademischen Lehrer	75
8.5 Danksagung	76
8.6 Ehrenwörtliche Erklärung	78

## **1. Einleitung und Zielsetzung**

### **1.1 Rahmenbedingungen im bodengebundenen Rettungsdienst**

#### **1.1.1 Prinzipien in der Notfallversorgung**

Die präklinische Versorgung von Notfallpatienten nimmt in Deutschland einen besonderen Stellenwert ein. Die Sicherstellung der Patientenversorgung in dieser mitunter entscheidenden Phase steht im Zentrum des Bemühens in der präklinischen Notfallmedizin. Im internationalen Vergleich kommen zwei Modelle der Notfallversorgung zur Anwendung. Dem „franko-germanischen Modell“ steht das „anglo-amerikanische Modell“ gegenüber. Beide Modelle entstanden aus unterschiedlichen Prinzipien sowie struktureller Begebenheiten und bieten mit ihren Eigenschaften positive und negative Aspekte.[3]

Die Arbeitsweise des „anglo-amerikanischen Modells“ kommt in Ländern wie Kanada und den USA zur Anwendung. Nach dem Prinzip des „Load and Go“ steht nach dem Ergreifen stabilisierender Maßnahmen durch so genannte Paramedics der unverzügliche Transport des Patienten in eine Notaufnahme im Vordergrund. In der Notaufnahme entsteht dann der erste ärztliche Kontakt und die weitere diagnostische und therapeutische Versorgung wird geplant. Der Vorteil besteht in kurzen Transportzeiten, was insbesondere in der Versorgung von Traumapatienten essentiell ist und mit einer geringeren Mortalität assoziiert ist.[59]

Mit der Vorstellung, dass Versäumnisse in der Frühphase später nicht oder nur unzureichend kompensiert werden können, erfolgt die präklinische Versorgung von Patienten in Deutschland, Frankreich, Österreich und Teilen der Schweiz nach dem „franko-germanischen Modell“. Die Anwendung dieses Modells nach dem Prinzip des „Stay and Play“ beinhaltet das Ergreifen diagnostischer und therapeutischer Maßnahmen bereits am Einsatzort oder in der Zeit vom Einsatzort zum Krankenhaus. Die Anwendung des Prinzips geschieht mit der Vorstellung, das therapiefreie Intervall zu verkürzen und die Versorgung

der Patienten in dieser Frühphase zu optimieren. Trotz einer bedeutenden wirtschaftlichen Belastung werden für die Sicherstellung eines hohen medizinischen Standards neben Rettungswagen (RTW) mit nicht-ärztlichem Personal auch notarztbesetzte Rettungsmittel vorgehalten. Ein Notarzt besitzt nach einer entsprechenden Ausbildung die Kompetenz, komplexe Krankheitsgeschehnisse zu erfassen und zu behandeln. Spezifische Krankheitsbilder, bei denen eine Behandlung vor Ort oder in einer Rettungsstelle nicht möglich oder notwendig ist, machen nicht selten die Entscheidung gegen einen Transport oder für einen direkten Transport auf eine Intensivstation oder beispielsweise in ein Herzkatheterlabor erforderlich.

Die optimale Nutzung von vorhandenen Ressourcen steht neben der Minimierung des therapiefreien Intervalls im Zentrum des „franko-germanischen Modells“. In Abhängigkeit des Krankheitsbildes und von einsatztaktischen Überlegungen kommen im bodengebundenen Rettungsdienst unterschiedliche Rettungsmittel zum Einsatz. Die Mindestausstattung der Rettungsmittel ist nach DIN normiert.[18] Ein Rettungswagen (RTW) ist mit nicht-ärztlichem Personal besetzt und für den Transport von Patienten geeignet. Bei einem Notfall ohne Indikation für einen Notarzteinsatz kann eine RTW-Besatzung die Behandlung eines Patienten durchführen. Der Notarzt steht weiterhin für das Einsatzgebiet zur Verfügung. Bei den notarztbesetzten Fahrzeugen wird zwischen dem NAW (Notarztwagen) und NEF (Notarzteinsatzfahrzeug) unterschieden. Der NAW ist ein Kompaktsystem, bestehend aus spezifisch ausgerüstetem RTW und Notarzt. Das NEF agiert als Notarztzubringer, das nach dem Rendezvous-System bei Bedarf mit- oder nachalarmiert werden kann. Ein NEF ist häufig kleiner, wendiger und schneller. Wenn ein Transport durch den RTW ohne Notarzt möglich ist, steht dieser früher für weitere Einsätze zur Verfügung.

### 1.1.2 Ausbildung des Rettungsdienstpersonals

Das Prinzip des „franko-germanischen Modells“ spiegelt sich in der Ausbildung des Personals wieder. Deren Rahmenbedingungen werden in Deutschland auf Bundes- oder Landesebene festgelegt. Zuständigkeiten, organisatorische Strukturen und deren Finanzierung unterliegen entsprechend Artikel 30 und 70 des Grundgesetzes (GG) der Regelungskompetenz der Länder. Die Bundesländer erlassen jeweils eigene Rettungsdienstgesetze (z.B. hessisches Rettungsdienstgesetz, HRDG), wodurch in der Folge regionale Unterschiede entstehen. Zugunsten einer Einheitlichkeit der Qualifikation unterliegt jedoch die Ausbildung des Fachpersonals wie die des Rettungsassistenten und des Notfallsanitäters der Bundesgesetzgebung. Einen Überblick über gesetzliche Gegebenheiten erläutert der Autor Lubrich.[40] Das Rettungsassistentengesetz (RettAssG) wurde 1989 erlassen. Bis zum 31.12.2014 stellte der Ausbildungsberuf des Rettungsassistenten die höchste nicht-ärztliche Qualifikation dar. Für die Zugangsberechtigung zur Ausbildung wurde nach § 5 des RettAssG als Mindestschulabschluss der Hauptschulabschluss gefordert. Die Ausbildung eines Rettungsassistenten umfasst 2800 Stunden, dauerte durchschnittlich 2 Jahre und beinhaltet u.a. das Erlernen theoretischer Grundlagen sowie praktischer Kompetenzen. Nach § 3 des RettAssG soll der Rettungsassistent als „Helfer des Arztes“ befähigt sein, „am Notfallort bis zum Eintreffen des Arztes lebensrettende Maßnahmen durchzuführen (...) und Notfallpatienten sachgerecht zu betreuen“. Die Kompetenzen umfassen beispielsweise diagnostische Fähigkeiten, das Legen periphervenöser Zugänge, das Applizieren ausgewählter Notfallmedikamente und das Intubieren.

Ein Rettungsassistent bewegt sich während der Ausübung seiner medizinischen Tätigkeit in einem strafrechtlich relevanten Bereich. Nach § 1 Abs. 1 Heilpraktikergesetz ist die Durchführung medizinischer Maßnahmen jedoch Ärzten vorbehalten. Nach § 5 des Heilpraktikergesetzes stellt die Durchführung von ärztlichen Maßnahmen durch eine nicht-ärztliche Person eine Straftat dar. Erst die Anwendung des § 34 StGB mit der

Argumentation eines rechtfertigenden Notstandes, räumt einem Rettungsassistenten eine Notkompetenz ein, so dass die Strafbarkeit in Abwägung jedes Einzelfalles entfallen kann. Der Umfang der Maßnahmen im Rahmen der Notkompetenz wird gesetzlich nicht explizit geregelt. Die Bundesärztekammer definiert diesbezüglich in zwei Stellungnahmen einen Orientierungsrahmen, welcher spezifische Maßnahmen, u.a. die Intubation ohne Muskelrelaxation, enthält.[16, 64] Eine Rechtsgültigkeit besitzen die Stellungnahmen der Bundesärztekammer jedoch nicht. Im Falle eines Strafverfahrens können sie „...allenfalls als antizipierte Sachverständigengutachten berücksichtigt werden und somit eine positive Aussagefunktion hinsichtlich der medizinischen Fähigkeit des Rettungsassistenten erlangen.“[40]

Das Rettungsassistentengesetz trat zum 31.12.2014 außer Kraft. Die Berufsbezeichnung Rettungsassistent darf weiter geführt werden (§ 30 NotSanG).

Mit dem Ziel einer umfassenden Reform regelt seit dem 01.01.2014 das Notfallsanitättergesetz (NotSanG) die Rahmenbedingungen zur Ausbildung für die höchste nicht-ärztliche Qualifikation im Rettungsdienst. Nach § 5 Abs. 1 wird die Ausbildungszeit auf 3 Jahre in Vollzeit verlängert. Ein Realschulabschluss stellt nun als Mindestschulabschluss eine Zugangsvoraussetzung dar, was nach § 8 mit einem komplexeren Ausbildungsziel gerechtfertigt wird. Eine weitere Neuerung stellt die Verpflichtung zu einer angemessenen Ausbildungsvergütung dar (§ 15 Abs. 1 NotSanG), was zur „...Steigerung der Attraktivität des Berufsbildes“ beitragen soll.[40] Im Vergleich zur Ausbildung eines Rettungsassistenten mit Ausbildungskosten von etwa 13.000 € führt die Ausbildungsvergütung zu einer Steigerung der Ausbildungskosten eines Notfallsanitäters auf ca. 50.500 €. In einer Stellungnahme des Bundesrates sollen die Kosten der Ausbildung durch die Krankenversicherungen getragen werden.

Im Hinblick auf Rechtsunsicherheiten durch Auslegung des Rettungsassistentengesetzes und des Heilpraktikergesetzes stellt sich die Frage, ob das Notfallsanitättergesetz mit mehr



Rechtssicherheit in der Berufsausübung einhergeht. Einerseits werden die Kompetenzen nach § 4 Abs. 1 (NotSanG) mit dem Hinweis auf „...eigenverantwortliche Durchführung“ gestärkt. Dies beinhaltet nun nicht mehr nur die Zeitspanne „bis zum Eintreffen des Notarztes“ sondern umfasst mit der zusätzlichen Formulierung „... oder dem Beginn einer weiteren ärztlichen Versorgung“, womit mutmaßlich die Versorgung im Krankenhaus gemeint ist. Auch die Versorgung durch einen ambulanten Arzt könnte darin inbegriffen sein.

Nach § 4 Abs. 2 Nr. 2 lit. c (NotSanG) soll der Notfallsanitäter zudem „...heilkundliche Maßnahmen“ durchführen dürfen, „ die vom Ärztlichen Leiter Rettungsdienst oder entsprechend verantwortlichen Ärztinnen oder Ärzten bei bestimmten notfallmedizinischen Zustandsbildern und -situationen standardmäßig vorgegeben, überprüft und verantwortet werden.“ Andererseits geht aus dieser Formulierung keine Rechtssicherheit für Notfallsanitäter hervor. Für eine Rechtssicherheit wäre die Befugnis zur Ausübung der Heilkunde erforderlich, die sich im Gesetzestext nicht wiederfindet.

Welche Maßnahmen durch einen Notfallsanitäter im Notfall ergriffen werden dürfen, soll durch den jeweiligen Ärztlichen Leiter Rettungsdienst festgelegt werden. Nach Angaben des Bundesverbandes Ärztlicher Leiter Rettungsdienstes e.V. organisieren sich allein im Bundesland Hessen 24 verschiedene Ärztliche Leiter des Rettungsdienstes im Bundesverband. Um einer Heterogenität der Ausbildungsstandards entgegenzuwirken, wurde am 15.02.2014 seitens des Bundesverbandes nach einem Abstimmungsprozess ein Bericht über Empfehlungen vorgelegt.[12] Dieser Bericht enthält konkrete Empfehlungen hinsichtlich des Umfangs von invasiven Maßnahmen und einen Ausbildungsplan, der ein hohes Kompetenzniveau sicherstellen soll.[10] Der Katalog umfasst 15 Maßnahmen, die in einer spezifischen Notfallsituation eigenverantwortlich oder unter Mitwirkung angewendet werden dürfen. Bei jeder Maßnahme wird auf die zugrunde liegende Leitlinie hingewiesen und empfohlen, wie häufig eine Maßnahme in der Ausbildung am Patienten oder am Phantom geübt werden soll. Für das Beispiel des eigenverantwortlichen Anlegens eines externen Schrittmachers bei bewusstlosen Patienten mit instabiler Bradykardie sollte die

Maßnahme 20 mal am Phantom geübt werden. Der Katalog umfasst u.a. Maßnahmen wie die Begleitung einer Geburt, die Kardioversion, das tiefe endotracheale Absaugen oder die Thoraxpunktion bei Patienten mit Spannungspneumothorax.

Zudem legte der Bundesverband Ärztlicher Leiter Rettungsdienst eine Liste mit 25 Medikamenten und ihren entsprechenden Notfallindikationen vor, die Bestandteil der Ausbildung sein sollen.[11] Ob der Einsatz eigenverantwortlich oder unter Mitwirkung erfolgt, obliegt der Entscheidung des jeweilig zuständigen Ärztlichen Leiter Rettungsdienst. Eine gesetzliche Legitimation stellen die Empfehlungen nicht dar.

Die Erweiterung der Kompetenzen von nicht-ärztlichem Personal löste standespolitische Diskussionen aus.[40] Bereits vor der Einführung des NotSanG sprach sich die Bundesärztekammer im Hinblick auf die Patientensicherheit gegen die Einführung von Regelkompetenzen aus.[63] Die Aussage wird vor dem Hintergrund begründet, dass „... Notfallsituationen selbst für Ärzte anspruchsvolle Aufgabengebiete“ darstellen. Auch nach Inkrafttreten des NotSanG ist der Beruf des Notarztes nicht obsolet, da invasive Maßnahmen von Notfallsanitätern nur in spezifischen Notfallsituation bis zum Eintreffen des Notarztes oder dem Beginn einer weiteren ärztlichen Behandlung ausgeführt werden dürfen.[40]

Auch vor Inkrafttreten des NotSanG wurden die Kompetenzen der Rettungsassistenten stetig erweitert. Im Rettungsdienst Mittelhessen, im Landkreis Cuxhaven [26] und im Landkreis Reutlingen [28] dürfen beispielsweise speziell geschulte Rettungsassistenten im Rahmen eines „Call-back“-Systems nach telefonischer Rücksprache mit einem Notarzt dem Patienten bei entsprechender Indikation zur Analgesie und Sedierung Morphin intravenös verabreichen. Dieses Vorgehen beruht u.a. auf Daten von Greb *et al.*, die deutschlandweit erstmals in einer Studie des Rettungsdienstes Mittelhessen erhoben wurden.[27] In den Jahren zwischen 2006 bis 2009 wurden Daten über die Effektivität sowie Sicherheit zur Verwendung von intravenös appliziertem Morphin zur Analgesie durch Rettungsassistenten

erhoben, ohne dass initial ein Notarzt zugegen war. Rettungsassistenten mit besonderer Eignung durchliefen eine theoretische und eine praktische Schulung. Das Kernelement stellte die Implementierung eines Behandlungsalgorithmus dar, welcher Entscheidungskriterien, Bewertung der Vitalparameter und Sicherheitsgrenzen für die Medikamentendosierung enthält. Eingeschlossen wurden 176 Patienten mit einem Extremitätentrauma, bei denen durch konservative Maßnahmen, wie beispielsweise Lagerungsmanöver, keine suffiziente Schmerzstillung zu erzielen war. Nach fernmündlicher Autorisation durch einen diensthabenden Notarzt, also einem „Call-back“-System, titrierten die Rettungsassistenten symptomorientiert in Schritten von je 2 mg Morphin, wobei die maximale Dosis auf 0,2 mg/kg/KG festgelegt wurde. Zur Bewertung des Behandlungserfolges wurde die Schmerzintensität, initial und zum Zeitpunkt der Patientenübergabe, mit Hilfe der numerischen Schmerzskala erfasst. Im Rahmen der Studie ließ sich die Schmerzintensität signifikant im Mittel um  $65 \pm 18\%$  senken. Neben der Dokumentation der Schmerzintensität wurden zur Wahrung der Patientensicherheit die Vitalparameter erhoben und verfolgt. In keinem Fall wurden definierte Sicherheitsgrenzen verletzt. Unerwünschte Wirkungen wie Übelkeit, Erbrechen, Urtikaria und Pruritus traten in 5,2% der Fälle auf. In 89% der Fälle war auch im Verlauf kein Notarzt bei der Behandlung der Patienten vor Ort erforderlich, so dass dieser für andere Einsätze zur Verfügung stand. Studien in anderen Landkreisen unterstützten die in Mittelhessen erhobenen Daten.[26, 28] Die rechtliche Sicht wird kontrovers diskutiert. Einerseits besteht die Auffassung einer Legitimation der Maßnahme, sofern in jedem Fall konkret auf telefonische Anweisung gehandelt wird.[22] Andererseits geben die betreffenden Fachgesellschaften an, dass betäubungsmittelrechtliche Vorschriften dem legitimierte Verabreichen von Morphin durch Rettungsassistenten entgegenstehen.[13] Auch die Wirksamkeit einer Aufklärung durch nicht-ärztliches Personal über ärztliche Maßnahmen wird diskutiert.[22] Letztendlich ist es Aufgabe des Gesetzgebers eine Rechtssicherheit für das Personal des Rettungsdienstes herzustellen.

### 1.1.3 Ausstattung der Rettungsmittel

Neben der Schulung des Rettungsfachpersonals, wird mit Hilfe einer stetigen Verbesserung der technischen Ausstattung der Rettungswagen die diagnostische und therapeutische Qualität in der Patientenversorgung vorangetrieben. So ist seit 2007 nach DIN 1798:2007 das Vorhalten einer Kapnometrie verpflichtend.[18] Mit dieser Technik kann beispielsweise eine oesophageale Fehllage oder eine akzidentelle Dislokation des endotrachealen Tubus während des Transportes festgestellt werden. Die unentdeckte Fehlintonation ist mit einer hohen Mortalität assoziiert. In einer Studie der Autoren Silvestri *et al.* ließ sich in einer Untersuchung mit 248 Patienten die Inzidenz von Tubusfehlagen unter Verwendung einer Kapnometrie von 23,3% auf 0% reduzieren.[61]

Das Atemwegsmanagement stellt einen zentralen Punkt in der Behandlung von Notfallpatienten dar. Im außerklinischen Umfeld ist ein Notarzt jedoch häufiger mit einem schwierigen Atemweg konfrontiert. Die Autoren Timmermann *et al.* sehen hierfür die Gründe sowohl bei der Ausstattung der Rettungsmittel als auch bei den individuellen Kenntnissen und Fähigkeiten der Notärzte, insbesondere bei Notärzten, die nicht aus dem Fachbereich der Anästhesie stammen und nicht mit der Problematik eines schwierigen Atemwegs im täglichen Handeln konfrontiert sind.[66] Auch bei pädiatrischen Patienten oder Traumapatienten, bei denen die Notwendigkeit einer Immobilisation der Halswirbelsäule besteht, können die Intubationsbedingungen erschwert sein. Für die Verbesserung des Atemwegsmanagements stehen zunehmend supraglottische Atemwegshilfen wie beispielsweise die Larynxmaske zur Verfügung. Darüber hinaus unterstützen positive Daten für die Sicherheit der Intubation, die Verwendung von Videolaryngoskopen im Rettungsdienst.[15] In einer Arbeit von Kill *et al.* wurde der Vorteil einer Intubation mittels Videolaryngoskop im Vergleich zu konventioneller Intubation mittels Laryngoskop für Patienten mit möglichem Trauma der Halswirbelsäule herausgearbeitet. So ließ sich in der Studie an 60 Patienten ein signifikant niedrigerer mittlerer und maximaler Reklinationswinkel der Halswirbelsäule während der Intubation

mittels Videolaryngoskopie erreichen.[36] Insbesondere für ungeübtes Personal könnte die Videolaryngoskopie die Intubationsbedingungen verbessern.

Durch den zunehmenden Einsatz von nicht-invasiver Beatmung lässt sich eine Intubation in vielen Fällen verhindern.[23] Insbesondere Patienten mit einem kardial bedingten Lungenödem [43] oder einer exazerbierten COPD [5] profitieren von einer nicht-invasiven Beatmung. In einer Studie im Rettungsdienst Mittelhessen von Jerrentrup *et al.* erhielten Patienten mit einem vermuteten Lungenödem eine CPAP-Therapie. Trotz einer Ausgangssauerstoffsättigung von 82% unter 7,5l O<sub>2</sub> betrug die Intubationsrate lediglich 7,4%.[32] Von Vorteil ist beispielsweise die Vermeidung einer Analgosedierung, der Erhalt der Schutzreflexe und der Kommunikationsfähigkeit.

Ein Beispiel für das Verlegen einer diagnostischen und therapeutischen Maßnahme in die prähospitalen Phase stellt der Einsatz des „Stroke-Einsatz-Mobils“ (kurz „STEMO“) dar. Mit Hilfe eines an Bord befindlichen CT-Gerätes kann bei Patienten mit typischer Symptomatik für einen Schlaganfall, durch den Ausschluss einer intrakraniellen Blutung, eine Lysetherapie ohne transportbedingte Verzögerung begonnen und somit ein Beitrag für eine bessere Prognose geleistet werden. In einer 2013 veröffentlichten Studie von Weber *et al.* [69] ließ sich bei Patienten durch eine CT-Diagnostik mittels des „STEMOs“ die Zeitspanne vom Zeitpunkt des Notrufes bis zur Einleitung der Lysetherapie um 36 Minuten senken. Die „Call-to-Needle-Time“ betrug 62 Minuten.

In dieser Studie wurde ein enormer finanzieller Aufwand betrieben. Der Rettungswagen mit integriertem CT wurde mit einem Neurologen, einem Radiologen und einem Rettungsassistenten besetzt. Auch Laboruntersuchungen waren möglich. Die erhobenen Daten wurden während des Einsatzes an das weiterbehandelnde Krankenhaus übermittelt.

Allgemein muss festgehalten werden, dass alle zusätzlichen diagnostischen und therapeutischen Maßnahmen die Transportzeiten verlängern können. In den Jahren 2008/09 betrug die mittlere Einsatzzeit eines NEF bei internistischen Notfällen 55 Minuten.

Dies ergab eine umfangreiche Datenerhebung für die Evaluation des Rettungsdienstes.[59] So lange ein Transport dauert, steht dieses Rettungsmittel anderen Einsätzen nicht zur Verfügung. Entsprechende Kapazitäten müssen vorgehalten und finanziert werden. Zudem müssen Anschaffungskosten durch Vorteile in der Patientenversorgung gerechtfertigt werden.

#### 1.1.4 Kennzahlen im Landkreis Marburg-Biedenkopf

In den Landkreisen Marburg-Biedenkopf und Gießen erbringt die Rettungsdienstgesellschaft „DRK Rettungsdienst Mittelhessen“ den größten Teil der Leistungen des öffentlichen Rettungsdienstes. Nach eigenen Angaben werden für das Jahr 2015 57700 Einsätze erwartet. Etwa 9000 Einsätze sind Notarzt-begleitet. Der Fuhrpark umfasst 70 Fahrzeuge bzw. Anhänger. Beschäftigt werden derzeit 425 Mitarbeiter. Betrieben werden 19 Wachenstandorte, 4 davon mit Notarztbesetzung.[19] Für die beiden NEF-Standorte „Marburg Süd“ und „Kirchhain“ waren 2011/2012 insgesamt 52 in Teilzeit beschäftigte Notärzte tätig.[72]

Im Bundesland Hessen müssen Notärzte eine 2-jährige klinische Erfahrung in der stationären Patientenversorgung vorweisen, wovon 6 Monate in der Notaufnahme, in der Anästhesie oder in der Intensivmedizin abzuleisten sind. Neben einem 80-stündigem Kurs sind zudem 50 notärztliche Einsätze unter Anleitung erforderlich.[38] Individuelle Kenntnisse und Fähigkeiten der Notärzte entstehen in Abhängigkeit von Erfahrung oder dem hauptberuflichen Tätigkeitsfeld.

## 1.2 Sonographie in der Notfallmedizin

In der Versorgung von Notfallpatienten im klinischen Alltag stellt die Durchführung einer Ultraschalluntersuchung mittlerweile eine zentrale diagnostische Maßnahme dar.

Bereits vor zehn Jahren betonten die Autoren Sankoff und Keys die Notwendigkeit, Notfallmediziner in der Ausübung und Auswertung von Ultraschalluntersuchungen zu schulen, da diese Form der Diagnostik nicht-invasiv, mobil, verlässlich, schnell und kosteneffektiv sei.[57]

Seitdem nimmt die Bedeutung der Notfallsonographie in verschiedenen Disziplinen stetig zu.[14] Im Besonderen sind die Entwicklungen in der Traumatologie hervorzuheben. Mit Hilfe des Konzepts FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma) kommt dort bereits ein Algorithmus zur Vorgehensweise bei Patienten mit möglichen intrathorakalen oder intraabdominellen Verletzungen zum Einsatz, welcher den Entscheidungsprozess zur chirurgischen Intervention verkürzt und objektiviert. Mit Hilfe von einfach auszuführenden Standardschnitten lassen sich umgehend ein Perikarderguss, ein Hämatothorax sowie freie abdominelle Flüssigkeit ausschließen.[6, 58] Bevor sich bildgebende Verfahren implementierten, musste bei der Frage nach intraabdomineller Flüssigkeit oder Blut eine Peritoneallavage durchgeführt werden. Dazu wurde das Abdomen unterhalb des Bauchnabels punktiert und über einen Katheter eine Kochsalzlösung infundiert. Die durch hydrostatischen Druck zurücklaufende Flüssigkeit wurde dann qualitativ beurteilt. Die Durchführung einer Peritoneallavage hat durch die Sonographie und Computertomographie an Bedeutung verloren.

Einen großen Beitrag zum Gebrauch der Sonographie in der Notfallmedizin leistete die Entwicklung von tragbaren, aber leistungsfähigen Ultraschallgeräten.[30] Von besonderer Wichtigkeit ist die Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse der portablen Geräten mit denen von stationären High-End-Geräten. Ziegler *et al.* ermittelten in der Durchführung

von Thoraxsonographien eine Übereinstimmungsrate von 89%.[74]

Trotz der guten Ergebnisse bezüglich des Einsatzes der Sonographie im Management von Notfallpatienten in der Notaufnahme, gab es zunächst nur vereinzelt Ansätze, diese Erfahrungen auf die präklinische Phase zu übertragen.[67] Hierbei waren die Ergebnisse jedoch durchaus positiv zu bewerten: Studien an Traumapatienten am Unfallort oder während des Transports zeigten ein großes Potential des Ultraschalls zur frühen Detektion von freier abdomineller Flüssigkeit oder einer Herzbeteiligung.[25, 67]

In der Studie zum Konzept des P-FAST (Prehospital Focused Abdominal Sonography for Trauma) wurde die Bedeutung einer schnellen Diagnose für die Patienten am Unfallort herausgearbeitet. Im Studienkollektiv der Multicenter Studie ließ sich bei 14% der Patienten eine intraabdominelle Blutung nachweisen. Die Sensitivität und Spezifität der erhobenen Befunde betrug 93 bzw. 99 %. Aus der Ultraschalluntersuchung resultierten für ein Drittel der Patienten direkte Konsequenzen in der Behandlung und für 22% der Patienten wurde mit Hilfe der Untersuchung ein Transport in eine Klinik für nicht mehr erforderlich erachtet. Im Falle eines erhöhten Aufkommens von Verletzten, konnten hilfreiche Informationen für die Triage erhoben werden.[67]

Gemessen an allen Notarzteinsätzen bilden polytraumatisierte Patienten jedoch nur ein kleines Kollektiv. Die Mehrzahl der kritisch kranken Patienten im Rettungsdienst leidet an internistischen Erkrankungen [59], häufig mit respiratorischen oder kardialen Störungen, die sich mit dem Leitsymptom der akuten Luftnot und des Thoraxschmerzes präsentiert.

	Verkehrs- unfall	Arbeits- unfall	Sonstiger Unfall	Internistischer Notfall	Sonstiger Notfall
Einzelfahrten	426.861	58.780	840.324	4.168.191	3.235.090

Tab. 1: Verteilung des Einsatzfahrtaufkommens in der Bundesrepublik Deutschland 2008/09 nach Einsatzanlass, Auszug.[59]



Als mögliche Differentialdiagnosen kommen zum Teil lebensbedrohliche Erkrankungen wie dekompensierte Herzinsuffizienz, akute Lungenarterienembolie, Perikarderguss bzw. – tamponade, Pleuraerguss oder Pneumothorax in Betracht.[25] Eine schnelle Differenzierung dieser Erkrankungen ist ausschlaggebend für eine individuelle und zielgerichtete Behandlungsstrategie, die unter Umständen die Überlebenswahrscheinlichkeit für den Patienten bestimmt.

Bisher sind die diagnostischen Möglichkeiten des Notarztes und der Rettungsassistenten auf körperliche Untersuchung, Auskultationsbefunde, das Schreiben eines EKG und das Erheben der Vitalparameter beschränkt. Diesen Methoden mangelt es jedoch sowohl an Sensitivität als auch an Spezifität. Darüber hinaus lassen sich diese Maßnahmen in einer meist lauten und häufig chaotischen präklinischen Umgebung teilweise schlecht durchführen.[25, 55, 67]

Für die Differenzierung kardialer und respiratorischer Störungen hält die Lungensonographie insbesondere in Rettungsstellen und auf Intensivstationen zunehmend Einzug. Die Untersuchung eines Pleura- oder Perikardergusses in den laterodorsalen Brustwandschnitten sowie im subxyphoidalen 4-Kammerblick ist bereits etabliert. Auch im Hinblick auf den Nachweis einer kardialen Dekompensation gewinnt die Sonographie der Lunge an Bedeutung.[70] Bei einer Vermehrung von B-Linien besteht ein Hinweis auf ein Lungenödem. B-Linien sind ein optisches Phänomen. Es wird hervorgerufen durch im Lungengewebe eingeschlossene Flüssigkeit. Diese eingeschlossene Flüssigkeit fungiert als Linse und erzielt einen Streuungseffekt. B- Linien kommen bereits im B-Mode zur Darstellung. Es bilden sich helle vertikal verlaufende, unscharf begrenzte Artefakte, welche von der Pleura ausgehend bis an den Bildschirmrand reichen. Aufgrund ihrer Ähnlichkeit zu einem Kometschweif, werden sie auch „Kometschweif-Artefakte“ genannt (Abbildung 1). Sie bewegen sich atemsynchron und können auch bei gesunden Probanden besonders laterobasal vereinzelt nachgewiesen werden. Vermehrt sich die interstitielle

Flüssigkeit im Sinne eines Lungenödems, so vermehren sich die B-Linien. Mehr als 3 B-Linien pro Bildausschnitt machen ein Lungenödem wahrscheinlich. B-Linien treten jedoch auch im Rahmen einer interstitiellen Pneumonie oder einer Lungenfibrose auf.[70]

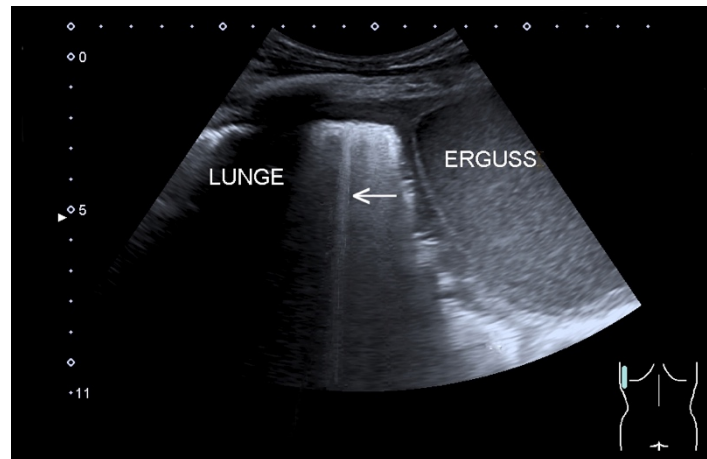


Abb. 1: Darstellung einer B-Linie (→) mit Hilfe des Konvexschallkopfes. Dieses Artefakt beginnt an der Pleura parietalis, reicht bis zum unteren Bildrand und bewegt sich atemsynchron.

Die sonographische Diagnostik hinsichtlich des Vorliegens eines Pneumothorax gewinnt ebenfalls zunehmend an Bedeutung. Bereits 1990 publizierten Targhetta *et al.* sonographisch erhobene Zeichen, wie das Fehlen des „Vorhang-Phänomens“, zur Diagnosestellung eines Pneumothorax.[65] In der Vergangenheit wurden weitere sonographische Zeichen, wie das Lungengleiten oder der Lungenpunkt, evaluiert.[2] In einer aktuellen Metaanalyse der Autoren Alrajab *et al.* wurde die diagnostische Wertigkeit der Lungensonographie bei Pneumothorax im Vergleich zu konventionellem Röntgen des Thorax untersucht.[2] Als Goldstandard wurde die Computertomographie verwendet. Für die Lungensonographie wurde eine Sensitivität von 79% und eine Spezifität von 98% erhoben. Die Sensitivität des Röntgen Thorax lag bei 40%. Die Spezifität wurde mit 99% ermittelt.

In der Lungensonographie werden für die Detektion eines Pneumothorax Artefakte unterschieden, die entweder an der belüfteten oder an der unbelüfteten Lunge beobachtet werden. Bereits im B-Mode kann das erste Zeichen zum Ausschluss eines Pneumothorax beobachtet werden. Unterhalb der Rippen kommt aufgrund der Totalreflexion der intraalveolären Luft und des Impedanzsprunges die Pleura als hyperechogenes Band zur Darstellung. Nur an einer belüfteten und damit ausgedehnten Lunge kann die atemsynchrone Bewegung der Pleura visceralis, das Lungengleiten, nachgewiesen werden (Abbildung 2).[70]

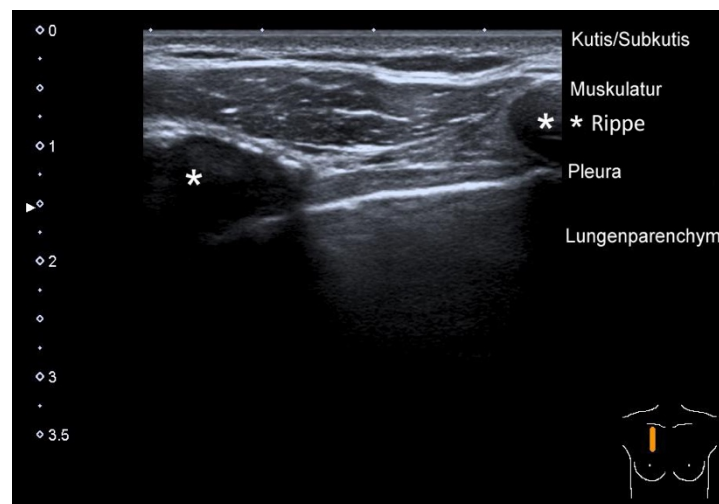


Abb. 2: Einstellung eines B-Mode Bildes des anterioren Interkostalraumschnitts rechts mit einem Linearschallkopf. Schallkopfnah kommt die Kutis und Subkutis sowie die Muskulatur zur Darstellung. Zwischen den beiden Rippen (\*) mit dorsaler Schallauslöschung kann die Pleura als echoreiches Band dargestellt werden, welches im bewegten Bild atemsynchron im Rahmen des Lungengleitens beobachtet werden kann.

Nimmt man in Atemruhelage den M-Mode zu Hilfe, können mit dem „Seashore-sign“ und der Darstellungen des Lungenpulses zwei weitere Zeichen für eine belüftete Lunge beobachtet werden. Der M-Mode ist für die fokussierte Darstellung des Bewegungsablaufes über den zeitlichen Verlauf erforderlich. Das „Seashore-sign“ entsteht

durch die unterschiedliche Darstellung von starren und sich bewegenden Objekten im M-Mode. Durch das Richten des M-Mode Strahls auf die ruhenden oberhalb der Pleura liegenden Strukturen, wie Kutis und Muskulatur der Thoraxwand, entsteht ein Bild mit ebenso starren horizontalen Linien. Diese Linien symbolisieren Wellen des Meeres. Distal der Pleurablätter entsteht durch die Reflektion der aneinander gleitenden Pleurablätter ein typisches granuläres Muster, das an einen Sandstrand erinnert (Abbildung 3).

Für die Untersuchung des Lungenpulses muss sich der Patient in Atemruhelage befinden. Der Lungenpuls, der durch die Übertragung des Herzschlages auf das Lungenparenchym entsteht, kann im M-Mode als regelmäßig auftretende, senkrechte Linien nachgewiesen werden, da die Lunge kurzzeitig durch die Herzaktion passiv bewegt wird (Abbildung 4).

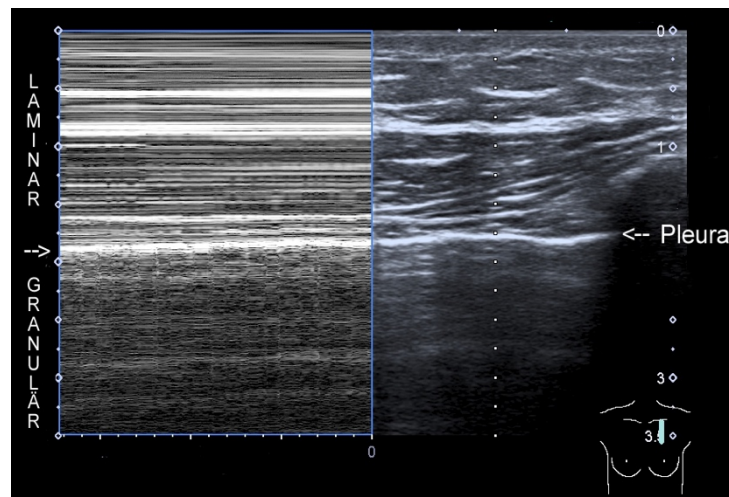


Abb. 3: „Seashore-sign“: Rechtsseitig wird im B-Mode Bild die Position des M-Mode Strahls festgelegt. Auf der linken Seite wird das M-Mode Signal über eine definierte Zeit kontinuierlich aufgetragen. Im oberen Bildabschnitt des M-Mode Bildes entsteht durch die in Bezug auf den Schallkopf ruhenden Strukturen ein lineares Muster („Wellen des Meeres“). Unterhalb der → Pleura entsteht durch ihre Reflexion und Bewegung ein granuläres Muster („Sand“).

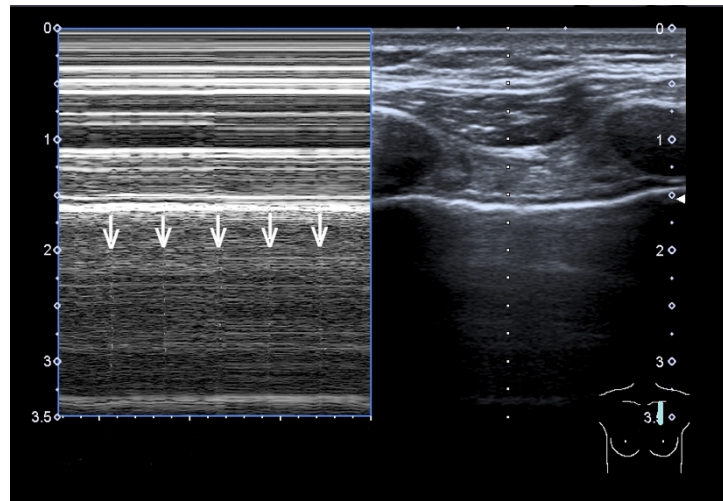


Abb. 4: Darstellung des Lungenpulses in Atemruhelage. Rechtsseitig Einstellung des M-Mode Strahls auf die gewünschte Höhe. Linksseitig wird im M-Mode-Bild die kurzzeitige passive Bewegung des Lungenparenchyms durch die Herzaktion mit Entstehung von senkrechten Linien (→ ) aufgezeichnet.

Darüber hinaus werden Artefakte beschrieben, die nur an der unbelüfteten Lunge beobachtet werden. Dazu gehören das „Stratosphären-Zeichen“ und die Darstellung des Lungenpunktes. Beide Phänomene werden im M-Mode untersucht. Das Stratosphären-Zeichen kommt zum einen durch das Fehlen des Lungengleitens zustande. Zum anderen bewirkt Luft im Pleuraspalt eine Totalreflexion der Schallwellen unterhalb der Pleura parietalis. Im M-Mode kommt statt des üblichen granulären Musters ein starres linienhaftes Muster zur Darstellung, welches dem des unbewegten Gewebes der Thoraxwand ähnelt (Abbildung 5). Aufgrund der Ähnlichkeit zu Kondensstreifen am Himmel wird dieses Phänomen Stratosphären-Zeichen genannt.

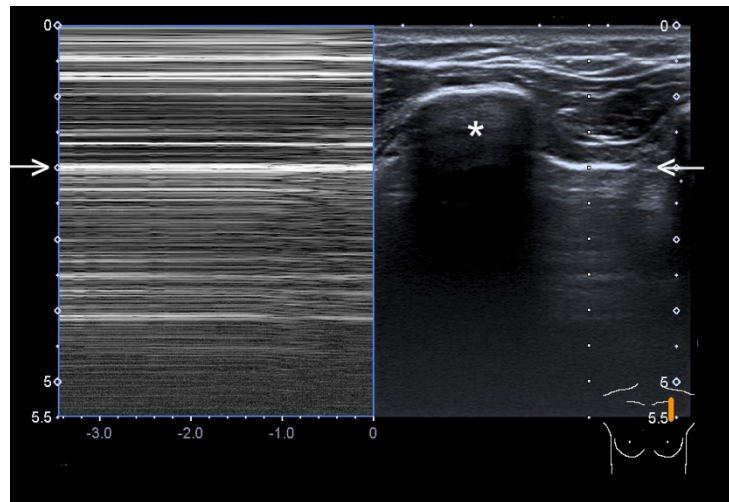


Abb. 5: Darstellung des „Stratosphären-Zeichens“ mit Hilfe des M-Modes. Im M-Mode-Bild auf der linken Seite kommt ein linienhaftes Muster unterhalb der (→) Pleura parietalis zur Darstellung, welches durch das Fehlen des Lungengleitens sowie einer Totalreflektion der Ultraschallstrahlen durch Luft im Pleuraraum entsteht.

Der Lungenpunkt hingegen beschreibt einen nachweisbaren Übergang zwischen dem Pneumothorax und den Arealen, die noch der Pleura anliegen. Während der Inspiration bewirkt die Drucksteigerung intrapulmonal ein erneutes Anlegen der Pleurablätter. Aufgrund des Druckabfalles während der Expiration kommt es erneut zur Trennung des Kontaktes. Atemsynchron lassen sich im M-Mode an dieser Stelle abwechselnd Zeichen der belüfteten und der unbelüfteten Lunge nachweisen. Im M-Mode wechseln sich das granuläre Muster der belüfteten Lunge in der Inspiration mit dem linearen Muster der unbelüfteten Lunge in Expiration ab. Der Lungenpunkt gilt als pathognomonisch für das Vorliegen eines Pneumothorax. Das Aufsuchen des Lungenpunktes kann mehrere Minuten in Anspruch nehmen. (Abbildung 6)

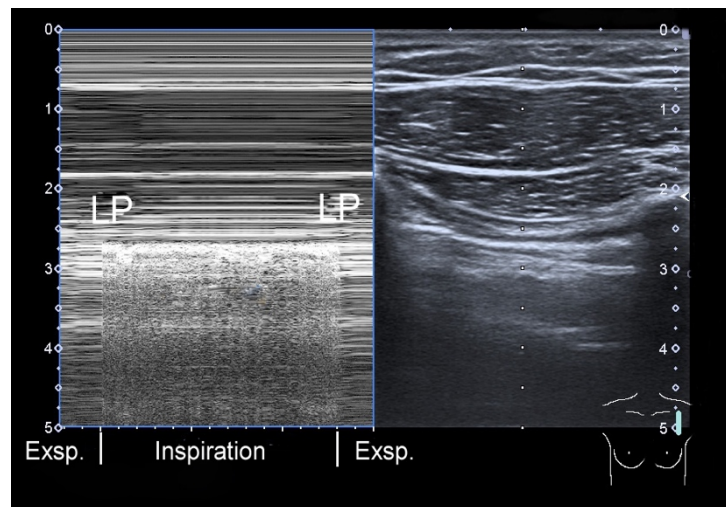


Abb. 6: Darstellung des Lungenpunktes mit Hilfe des M-Modes. In der Inspirationsphase kommt es durch die Ausdehnung der Lunge zum Anlegen des Lungenparenchyms an die Pleura parietalis. Das typische granuläre Muster bildet sich. Im Rahmen der Expiration kommt es zur Trennung der Pleurablätter und das „Stratosphären-Zeichen“ entsteht.

Die diagnostische Wertigkeit des Ultraschalls in Bezug auf die Diagnosestellung Pneumothorax spiegelt sich im Management von Traumapatienten bereits wieder. Der Algorithmus FAST wurde um die Diagnostik hinsichtlich eines Pneumothorax mit dem Namen eFAST (extended Focused Assessment of Sonography for Trauma) erweitert.[9] Da aktuelle klinische Studien der Thoraxsonographie einen hohen Stellenwert zur Differenzierung von akuter Lungenembolie, Pleura- und Perikarderguss und Pneumothorax zusprechen [2, 20, 44, 53, 54], stellt sich die Frage, ob sich diese diagnostische Maßnahme auch auf das Kollektiv der präklinischen internistischen Patienten anwenden ließe, um ihnen mit dieser nicht-invasiven Methode eine zielgerichtete und zeitnahe Therapie zukommen zu lassen.

### 1.3 Arbeitsziel und Fragestellung

Für einen Notfallpatienten stellt die Zeit bis zur adäquaten Diagnosestellung einen entscheidenden Faktor dar, da erst dann eine zielgerichtete Therapie eingeleitet werden kann. Die interdisziplinär besetzte Ultraschalleinheit des Universitätsklinikums Marburg hat für das klinische Setting zu dieser Fragestellung einen Algorithmus namens p-CHEST (prehospital Sonography of the CHEST) erstellt, der ermöglichen soll, Patienten mit den Leitsymptomen akute Dyspnoe und/ oder Thoraxschmerz mit Hilfe der Sonographie weitergehend zu untersuchen und differentialdiagnostisch Hilfestellung zu bekommen. Der Ultraschall erfolgt mit der Frage nach dem Vorliegen von einem Pleura- oder Perikarderguss, einer rechtsventrikulären Belastung (als Zeichen einer akuten Lungenembolie) und einem Pneumothorax. Der verwendete Algorithmus hat im klinischen Ablauf durchschnittlich 2 Minuten in Anspruch genommen und sich auf den Prozess der schnellen Entscheidungsfindung für die Einleitung therapeutischer Maßnahmen als sehr hilfreich erwiesen. Als Beispiele wären hier die Entscheidungen zu einer CT-Angiographie, notfallmäßigen Lysetherapie, einer Perikard- oder Pleurapunktion oder zu einer Reduktion der kardialen Vorlast durch den Einsatz von Vasodilatoren bzw. diuretisch wirkender Medikamente zu nennen. Auch die Auswahl eines nicht-invasiven Beatmungsverfahrens kann beeinflusst werden.

Es ist denkbar, dass auch Patienten in der präklinischen Versorgung mit Hilfe dieses Algorithmus und einem tragbaren Ultraschallgerät von einer schnellen Diagnosestellung profitieren können. Bisher wurde das Potential und die Durchführbarkeit einer Thoraxsonographie bei Notfallpatienten in der präklinischen Umgebung noch nicht systematisch evaluiert. Im Fokus der Studie steht, welche pathologischen Befunde erhoben werden können, und ob sich dadurch bereits präklinisch das Leitsymptom Dyspnoe und/oder Thoraxschmerz einer Erkrankung zuordnen lässt. Es ist denkbar, dass sich aus den erhobenen Befunden bereits präklinisch therapeutische Konsequenzen ergeben. Darüber hinaus ist von Interesse, wie ein Notarzt mit erhobenen Befunden umgeht.



Werden mögliche Maßnahmen bereits in der Präklinik ergriffen oder sollten die Befunde durch weitere diagnostische Maßnahmen erhärtet werden? In der Klinik steht eine umfangreichere Ausstattung oder zusätzliches Personal zur Verfügung, um beispielsweise Komplikationen nach einer Punktion zu beherrschen. In welchem Umfang therapeutische Maßnahmen ergriffen werden, kann auch von der individuellen Kompetenz des Notarztes abhängen.

Von besonderem Interesse ist, ob sich Störgrößen im präklinischen Umfeld ergeben. So kann zum Beispiel das Platzangebot vor Ort oder im Rettungswagen sehr eingeschränkt sein. Wie lässt sich die Ultraschalluntersuchung in den Ablauf des Einsatzes integrieren? In wie weit wird der Ablauf gestört und die Transportzeit verlängert?

Das interdisziplinär besetzte Zentrum für Notfallmedizin des Universitätsklinikums Marburg ist sehr an einer Optimierung der Versorgung von Patienten in der präklinischen Phase interessiert. Das Ziel dieser Pilotstudie ist, Daten bezüglich der Durchführbarkeit und des Nutzens der präklinischen Thoraxsonographie zu erheben und mit klinischen Befunden abzugleichen:

1. Ist die präklinische Notfallsonographie hilfreich in Bezug auf die Stellung einer Arbeitsdiagnose bei Patienten mit akuter Dyspnoe und/oder Thoraxschmerz?
2. Ist das Ergebnis der präklinischen Notfallsonographie verlässlich und kann es durch bildgebende Verfahren in der Klinik reproduziert werden?
3. Hat der Befund der Notfallsonographie Einfluss auf die weitere diagnostische oder therapeutische Vorgehensweise in der Klinik?
4. Welche Probleme können sich durch den Einsatz des Ultraschallgerätes während eines Notarzteinsatzes ergeben?
5. Lässt sich die Notfallsonographie in den zeitlichen Ablauf eines Notarzteinsatzes integrieren?
6. Lassen sich Patientenkollektive identifizieren, die besonders von einer Ultraschalluntersuchung profitieren würden?

## **2. Patientenkollektiv, Material und Methodik**

### **2.1 Allgemeine Studiendaten**

In dem Zeitraum zwischen Oktober 2008 und April 2009 wurden 62 Patienten (32 männlich, 30 weiblich, durchschnittliches Alter 67,1 Jahre, Schwankungsbreite 20-90 Jahre) mit akuter Dyspnoe und/oder Thoraxschmerz unter Beachtung des Studienprotokolls in die Studie aufgenommen und nach dem p-CHEST Algorithmus sonographisch untersucht. In dieser Studie handelt es sich um eine Anwendungsbeobachtung. Das Einsatzgebiet wurde durch den Rettungsdienst Mittelhessen definiert. Die Daten wurden an den NEF-Standorten in Marburg Süd und Kirchhain erhoben.

### **2.2 Selektionskriterien**

Eingeschlossen wurden erwachsene Patienten, bei denen aufgrund akuter Dyspnoe bzw. Thoraxschmerz ein Notarzteinsatz erforderlich wurde. Die Symptome durften nicht durch ein Trauma hervorgerufen worden sein. Die Patienten wurden nach dem Studienprotokoll entweder am Einsatzort oder im Rettungswagen mit dem Ultraschallgerät untersucht, sofern der einsatztaktische Ablauf nicht gestört wurde. Die Ultraschalluntersuchung durfte eine Zeitspanne von 5 Minuten nicht überschreiten. Eine Überschreitung von 5 Minuten stellte ein Abbruchkriterium dar.

## 2.3 Beschreibung des Ultraschallgerätes

Für die Untersuchung wurde das tragbare Ultraschallgerät MicroMAXX der Firma SonoSite GmbH verwendet. (Abbildung 7) Dieses Gerät verfügt über verschiedene Eigenschaften, durch die es sich für einen Einsatz im Rettungsdienst eignet:

Das Gerät lässt sich durch das Laptopformat und einem Gewicht von 3,5 kg in einem Rucksack gut transportieren. Es verfügt über einen 10,4 Zoll Monitor. Nach dem Einschalten ist das Gerät innerhalb von 12 Sekunden einsatzbereit. Das Gerät kann sowohl über ein Netzteil als auch eine Batterie betrieben werden. Ein Ersatzakku ist im Lieferumfang enthalten. Die Akkulaufzeit beträgt unter optimalen Bedingungen jeweils 2 Stunden. Darüber hinaus ist die Bedienung übersichtlich und benutzerfreundlich.



Abb. 7: Das tragbare Ultraschallgerät MicroMAXX der Firma SonoSite.

Die Untersuchungen wurden hauptsächlich mit einem 5-2 MHz 60 mm Konvexschallkopf durchgeführt. Für konkrete kardiale Fragestellungen stand auch ein Sektorschallkopf zur Verfügung. Zur Untersuchung der Lunge konnte ebenfalls ein Linearschallkopf verwendet werden. (Abb. 8, Tabelle 2)

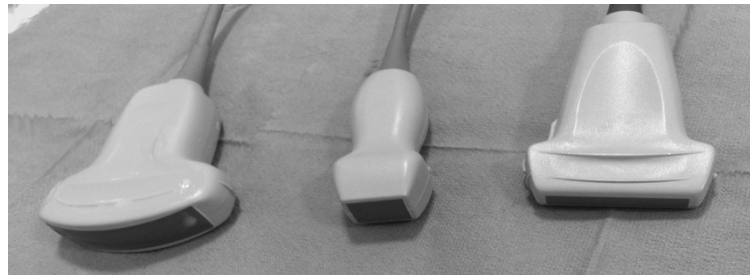


Abb. 8: Ultraschallköpfe von links nach rechts: Konvexschallkopf, Sektorschallkopf und Linearschallkopf.

Schallkopf	Eigenschaft/Verwendung
Konvexschallkopf	2-5 MHz, 60mm, konvex gekrümmte Ankopplungsfläche, verminderte Auflagefläche, aufgrund einer hohen Eindringtiefe besonders geeignet zur Übersichtseinstellung in der Abdomensonographie, im Vergleich zum Linearschallkopf eingeschränkte Nahauflösung, nachteilig sind Verzerrungen im Nah- und Fernbereich
Sektorschallkopf	2-3 MHz, geringe Auflagefläche, hohe Eindringtiefe, schallkopfnaher Verzerrung, häufig verwendet zur Echokardiographie
Linearschallkopf	5-10 MHz, längliche große Ankopplungsfläche, vorteilhaft ist die gute Auflösung schallkopfnah, so dass oberflächliche Strukturen wie Haut, Schilddrüse, Gefäße, Gelenke oder Darm gut untersucht werden können.

Tab. 2: Gegenüberstellung der Eigenschaften der verwendeten Schallköpfe [31]

Dopplersonographische Untersuchungen für die farbcodierten Darstellungen von Flussrichtungen und Turbulenzen sowie Geschwindigkeitsmessungen mit Hilfe des cw-Dopplers und des pw-Dopplers stehen ebenfalls zur Verfügung, waren aber nicht Bestandteil des Algorithmus.

Als Darstellungsmethoden können der B-Mode („Brightness Modulation“) sowie der M-Mode („Motion Mode“) zur Anwendung kommen. Mit Hilfe des B-Modes entsteht durch die reflektierte Amplitude des Gewebes und deren Aneinanderreihung als helligkeitsmodulierte Bildzeilen ein zweidimensionales Ultraschallschnittbild in der jeweilig eingestellten Ebene. Die Amplituden werden dabei in Graustufen übersetzt. Erreicht wird eine hohe örtliche Auflösung. Die Erfassung von sich schnell bewegenden Strukturen ist jedoch limitiert. Im M-Mode hingegen wird eine Ultraschallwelle, welche senkrecht zum bewegten Objekt steht, punktförmig fokussiert und deren Reflexion aus dem Gewebe über den zeitlichen Verlauf aufgezeichnet. Es entsteht ein eindimensionales Bild eines Bewegungsablaufes mit hoher zeitlicher Auflösung.[31]

## 2.4 Ablauf, Algorithmus und Klassifizierung der Untersuchungsbefunde

Um den einsatztaktischen Ablauf zu standardisieren wurden die 4 teilnehmenden Notärzte, alle in der Sonographie geschulte Internisten, zu Beginn der Studie sowohl in die Benutzung des Gerätes als auch in den Algorithmus der Notfallthoraxsonographie eingewiesen. Der Algorithmus p-CHEST muss den speziellen außerklinischen Anforderungen gerecht werden. Gefordert wird ein maximaler Informationsgewinn bei geringst möglichem zeitlichem und logistischem Aufwand. So werden alle Befunde mit Hilfe des zweidimensionalen B-Mode erhoben. Auf den M-Mode oder farbdopplersonographische Untersuchungen wird verzichtet. Der Algorithmus beinhaltet 5 Standardschnitte (Abbildung 9), durch die sich schnell Aussagen zum Herz- und Pleurazustand treffen lassen.

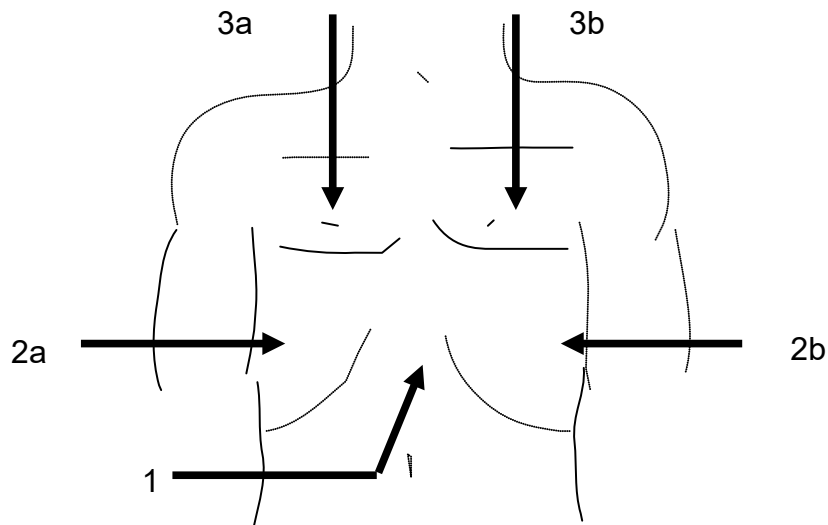


Abb. 9: Darstellung der Schnittebenen des p-CHEST Konzeptes.

1: subxyphoidaler 4-Kammer Blick, 2 a,b: laterodorsaler Interkostalraumschnitt dexter und sinister, 3 a,b: anteriorer Interkostalraumschnitt dexter und sinister

1. Mit Hilfe der laterodorsalen Brustwandschnitte wird beidseits der Recessus costodiaphragmaticus auf das Vorhandensein eines Pleuraergusses überprüft. Der Oberkörper des Patienten sollte leicht erhöht sein, da sich dann auch kleine Ergüsse in den Randwinkeln darstellen lassen. Auf Höhe des 8. ICR wird die Leber bzw. die Milz eingestellt. Physiologisch lässt sich das Lungenparenchym aufgrund ihres Luftgehaltes mit echoreichen Reflexen bis in die Recessus verfolgen. Im Rahmen der Inspiration mit begleitendem Abflachen des Zwerchfells wird das „Vorhangphänomen“ erzeugt. Die Lunge bewegt sich atemabhängig über Milz und Leber, so dass diese durch die Reflexion der Lunge wie hinter einen Vorhang treten und nicht mehr dargestellt werden können (Abbildung 10 + 11). Ein Pleuraerguss stellt sich kranial der soliden Organe als echoarmes Areal dar (Abbildung 12 + 13). Die Identifikation des Zwerchfells hilft bei der Differenzierung zwischen Pleuraerguss und Aszites. In ausgedehnten Pleuraergüssen lässt sich häufig konsolidiertes, dystelektatisches Lungengewebe darstellen. Im Rahmen eines

pneumonischen Infiltrates in den basalen Lungenabschnitten lassen sich häufig echoreiche Komplexe in den dystelektatischen Arealen im Sinne eines Bronchoaerogramms nachweisen (Abbildung 14).[69]

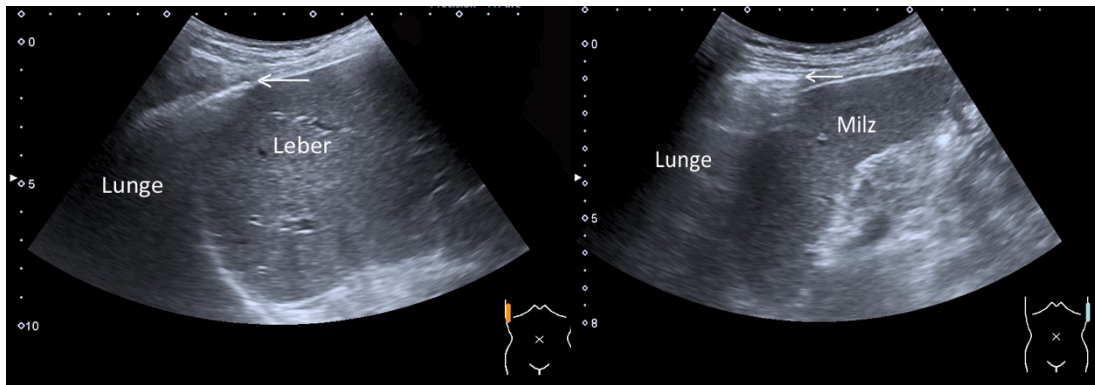


Abb. 10 + 11: Sonographischer Befund bei Abwesenheit eines Pleuraergusses im laterodorsalen Interkostalraumschnitt dexter und sinister. → Darstellung der Pleura visceralis als echoreiches Band.

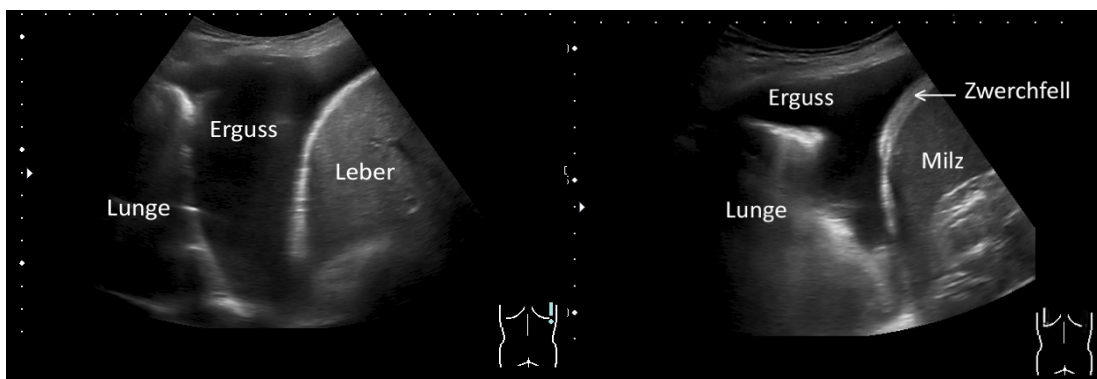


Abb. 12 (links): Darstellung eines echoarmen Pleuraergusses im Recessus costodiaphragmaticus dexter.

Abb. 13 (rechts): Darstellung eines echofreien Pleuraergusses im Recessus costodiaphragmaticus sinister. → Das Diaphragma lässt sich kranial der Milz echoreich abgrenzen.

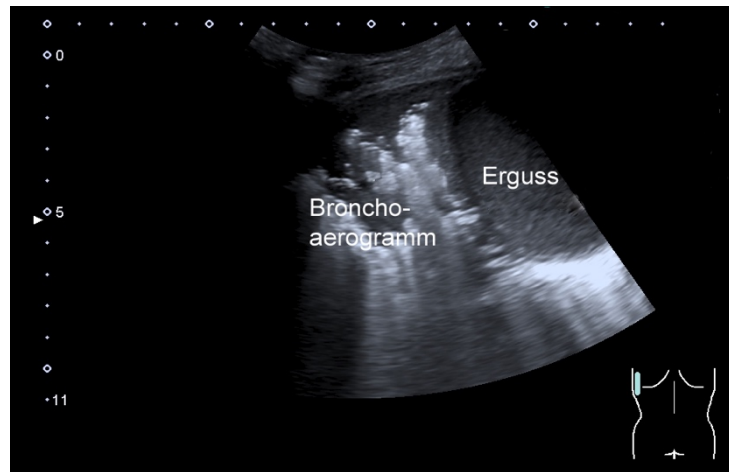


Abb. 14: Nachweis eines echoarmen Ergusses im Recessus costodiaphragmaticus sinister (rechts eingezeichnet). Zudem konsolidiertes Lungenparenchym mit echoreichen Lufteinschlüssen wie bei pneumomischem Infiltrat i.S. eines Bronchoaerogramms.

2. Der subxyphoidale 4-Kammerblick wird in Rückenlage bei entspannter Bauchdecke eingestellt (Abbildung 15). Es lassen sich alle vier Herzhöhlen sowie die Mitral- und Trikuspidalklappe darstellen. In dieser Schnittebene lässt sich die linksventrikuläre Ejektionsfraktion visuell grob durch die Einwärtsbewegung des Myokards quantifizieren. Die einsehbaren Myokardanteile des linken Ventrikels beinhalten in dieser Einstellung das Septum, den Apex sowie die laterale Wand. Die in der Echokardiographie übliche akkurate triplane Bestimmung der linksventrikulären Funktion würde einen apikalen 4-Kammerblick ebenso wie den 3-Kammer- und 2-Kammerblick erfordern. In Hinblick auf die zeitliche Komponente soll mit Hilfe der monoplanen Untersuchung lediglich bewertet werden, ob sich die linksventrikuläre Funktion im Bereich  $> 50\%$  oder  $< 50\%$  befindet.



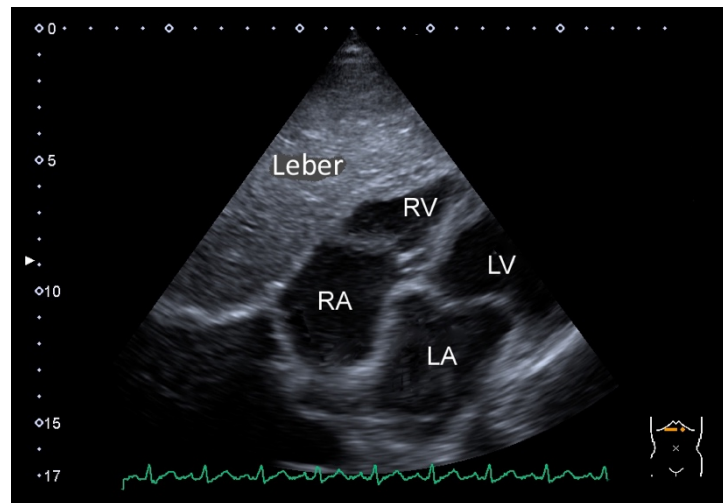


Abb. 15: Darstellung des Herzens im subxyphoidalen 4-Kammerblick mit einem Sektorschallkopf. Zwischen dem rechten Vorhof und dem rechten Ventrikel kommt die Trikuspidalklappe und zwischen dem linken Vorhof und Ventrikel die Mitralklappe zur Darstellung. Das rechte Herz ist schmal, das Septum steht nahezu senkrecht zur Herzachse (Abk.: RA: rechtes Atrium, LA: linkes Atrium, RV: rechter Ventrikel, LV: linker Ventrikel)

Weiterhin wird der rechtsventrikuläre Füllungsstatus beurteilt. Im Vergleich zum Querdurchmesser des linken Ventrikels ist der rechte Ventrikel bei physiologischer Anatomie im Querdurchmesser schmaler. Eine Dilatation des rechten Ventrikels kann Ausdruck einer Druck- bzw. Volumenbelastung wie bei akuter fulminanter Lungenarterienembolie sein. (Abbildung 16) Zur weiteren Beurteilung einer rechtsventrikulären Belastung wird die septale Kinetik herangezogen. Da der linksventrikuläre Druck den Druck der rechtsventrikulären Systole üblicherweise übersteigt, entsteht eine physiologische Deviation des interatrialen und interventrikulären Septums nach rechts. Im Rahmen einer Rechtsherzbelastung bewirkt der steigende Druck eine Abflachung des Septums sowie eine Verdrängung in Richtung des linken Ventrikels. Differentialdiagnostisch kommt jedoch auch eine chronische Rechtsherzbelastung wie beim Cor pulmonale durch eine primäre oder sekundäre pulmonalarterielle Hypertonie in Betracht.

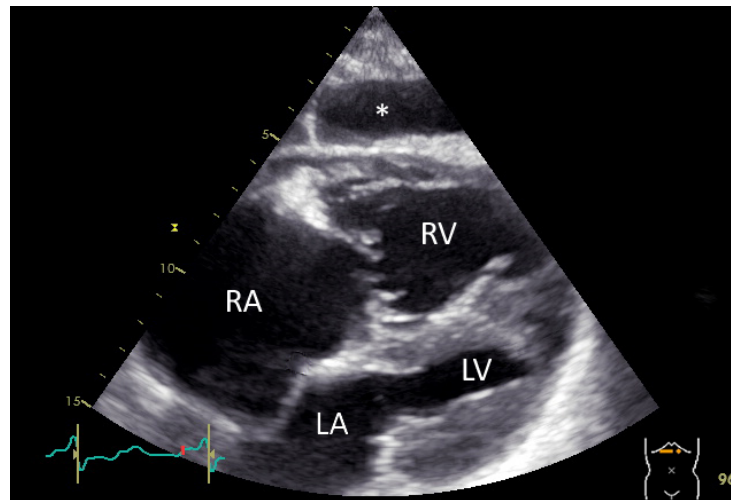


Abb. 16: Bei der Belastung des rechten Herzens durch Volumen oder Druck entwickelt sich eine Dilatation des rechten Ventrikels (RV) und später des rechten Vorhofes (RA). Der Querdurchmesser des linken Ventrikels (LV) und des linken Vorhofes (LA) ist im Vergleich schmaler. \*septierter Pleuraerguss links

In der gleichen Schnittebene wird auf das Vorhandensein eines Perikardergusses geachtet. Ein Perikarderguss stellt sich meist als echoarmer Saum zwischen Myokard und Perikard dar (Abbildung 17). Eine hämodynamische Relevanz zeigt sich visuell häufig an der Kompression beziehungsweise dem spätdiastolischen Kollaps des rechten Vorhofs und später des rechten Ventrikels.

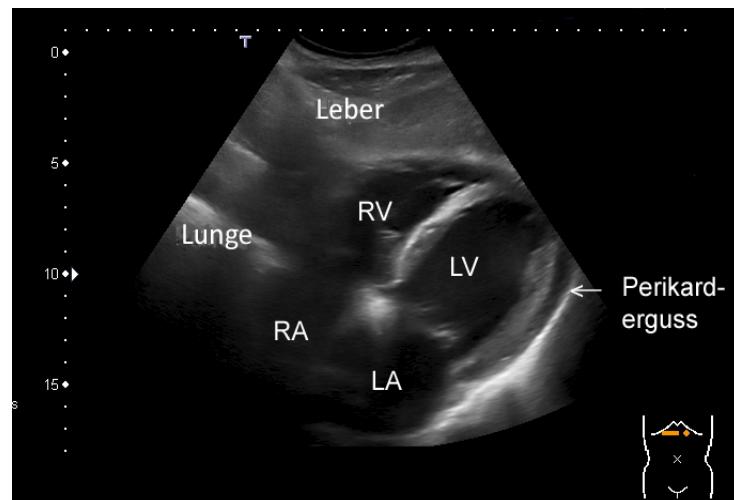


Abb. 17: Nachweis eines echoarmen Saumes vor dem linken Ventrikel im subxyphoidalen 4-Kammerblick mit einem Konvexschallkopf. (Abk.: RA: rechtes Atrium, LA: linkes Atrium, RV: rechter Ventrikel, LV: linker Ventrikel)

3. Für den Nachweis eines Pneumothorax wird im p-CHEST Algorithmus das Pleuragleiten herangezogen. Hierfür werden die anterioren Interkostalraumschnitte auf Höhe der Medioklavikularlinie und des 3./4. ICR angelotet.

Der Schallkopf wird vertikal gehalten. Der Patient sollte sich für diese Untersuchung in Rückenlage befinden, da sich die Luft ihren physikalischen Gesetzmäßigkeiten folgend, so am ehesten darstellen lässt. Da die umliegenden knöchernen Rippen eine Totalabsorption der Ultraschallwellen mit konsekutiver dorsaler Schallauslöschung bewirken, müssen die Interkostalräume als Schallfenster dienen.

Unterhalb der Rippen kommt die Pleura aufgrund der Totalreflektion der intraalveolären Luft und des Impedanzsprunges als hyperechogenes Band zur Darstellung. Nur an einer belüfteten Lunge kann dann die atemsynchrone Bewegung, das Pleuragleiten, zwischen Pleura visceralis und parietalis beobachtet werden (Abbildung 2).[70] Auf eine

Untersuchung des Lungenpulses, des Lungenpunktes und des „Seashore-signs“ wurde zugunsten einer kürzeren Untersuchungszeit verzichtet.

Eine Zusammenfassung der erhebbaren Befunde mit dem p-CHEST Algorithmus kann der Tabelle 3 entnommen werden.

Schnittebene	Befund physiologisch	Befund pathologisch
subxyphoidaler 4-Kammerblick	Darstellung des Herzens in unmittelbarer Nähe zu Leber, Kontraktilität aller linksventrikulärer Wandareale, schmales rechtes Herz mit Bewegung des Septums in Richtung rechtes Herz während der Systole	<u>Perikarderguss</u> : echoarmer Saum, lokalisiert oder circumferentiell, ggf. diastolische Füllungseinschränkung <u>rechtsventrikuläre Belastung</u> : ballonierter rechter Ventrikel, ggf. paradoxe Septumbewegung <u>eingeschränkte linksventrikuläre Funktion</u> : eingeschränkte Kontraktion des linken Ventrikels, global oder regional
laterodorsaler Brustwandschnitt rechts	Darstellung der Leber in der Längsachse, Ausdehnung der Lunge in den Recessus costodiaphragmaticus dexter, „Vorhangphänomen“	<u>Pleuraerguss rechts</u> : echoarme Ansammlung im Recessus costodiaphragmaticus dexter, ggf. echodichte Lungendystelektase
laterodorsaler Brustwandschnitt links	Darstellung der Milz in der Längsachse, Ausdehnung der Lunge in den Recessus costodiaphragmaticus sinister, „Vorhangphänomen“	<u>Pleuraerguss links</u> : echoarme Ansammlung im Recessus costodiaphragmaticus sinister, ggf. echodichte Lungendystelektase
anteriorer Interkostalraumschnitt beidseits	Nachweis des Pleuragleitens	<u>Pneumothorax</u> : Fehlen des Pleuragleitens

Tab. 3: Zusammenstellung der erhebbaren Befunde mit Hilfe des p-CHEST Algorithmus

Vor der Durchführung der Notfallthoraxsonographie wurden die Patienten am Einsatzort mit Luftnot und/oder Thoraxschmerz primär gemäß der Prinzipien des Advanced Life Supports evaluiert und stabilisiert. Es erfolgten standardisiert:

- die Erhebung einer Anamnese (z.B. Auslöser, Dauer, Verlauf und Intensität der Beschwerden, Vorerkrankungen, Medikation, Allergien)
- die körperliche Untersuchung mit Inspektion, Auskultation, Palpation und Perkussion
- das Schreiben eines EKG
- das Erheben und das Monitoring der Vitalparameter (Herzfrequenz, Blutdruck, Sauerstoffsättigung, ggf. Blutzuckerspiegel und Körpertemperatur)
- Sauerstoffgabe, sofern klinisch indiziert

Im Anschluss daran erfolgte die Ultraschalluntersuchung durch den behandelnden Notarzt. Sowohl die Ergebnisse der klinischen Untersuchung inklusive der Vitalparameter als auch die der Ultraschalluntersuchung wurden im Evaluationsbogen der Studie standardisiert dokumentiert. Weiterhin bewertete der Notarzt folgende Punkte:

- Sind die Ergebnisse der Sonographie als differentialdiagnostisch hilfreich einzuschätzen?
- Ob und inwiefern hat sich die Therapie für den Patienten durch die Ultraschalluntersuchung verändert?

Darüber hinaus traf der Notarzt Aussagen zu:

- Dauer der Untersuchung
- mögliche Abbruchursachen der Untersuchung
- Bildqualität
- Body-Mass-Index des Patienten

Um die Zuverlässigkeit der Ultraschalluntersuchung bewerten zu können, wurden deren Ergebnisse retrospektiv mit den Ergebnissen von Röntgen-, Computertomographie- und Herzultraschalluntersuchungen im Universitätsklinikum Marburg verglichen. Die Untersucher in der Klinik waren gegenüber den Resultaten der Notfallsonographie verblindet. In drei Fällen wurde von dieser Vorgehensweise abgewichen. Im Falle einer lebensbedrohlichen Perikardtamponade und bei 2 Patienten mit dem Verdacht auf eine akute Lungenarterienembolie mit deutlicher Rechtsherzbelastung wurden die Ergebnisse der präklinischen Sonographie an den behandelnden Arzt in der Notaufnahme weitergegeben.

## 2.5 Statistik und Datenverarbeitung

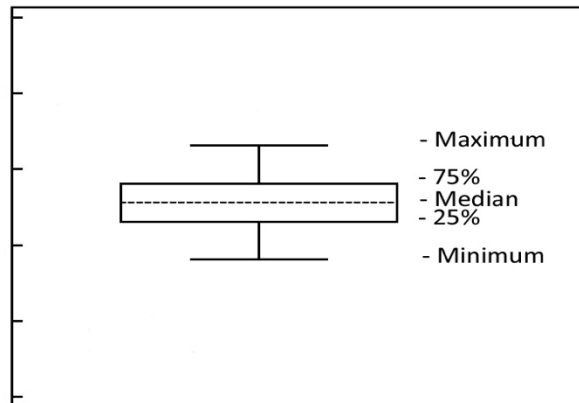
Im Rahmen der Datenverarbeitung wurde je nach Fragestellung der Mittelwert oder der Median berechnet. Der Median entspricht dem mittleren Wert der Werteverteilung. Der Mittelwert beschreibt den Durchschnittswert. Dieser wird jedoch besonders stark von Ausreißern beeinflusst. Das Maximum beschreibt den größten Wert, das Minimum den kleinsten Wert der Stichprobe. Das untere Quartil besagt, dass 25% der erhobenen Merkmalswerte kleiner oder gleich sind. Im obere Quartil sind 75% größer oder gleich. Die erhobenen Häufigkeiten beziehen sich auf absolute Zahlen.

Die Güte einer diagnostischen Methode wird durch die Parameter Sensitivität und Spezifität ausgedrückt. Unter Sensitivität versteht man den Anteil richtig positiver Ergebnisse bei Vorhandensein des zu untersuchenden Merkmals. Die Spezifität beschreibt den Anteil richtig negativer Befunde bei Fehlen des Merkmals.

Ausgehend von einer nicht-normalen Verteilung innerhalb der Population der Probanden und der Erforderlichkeit eines nicht-parametrischen Tests, wurde die statistische Evaluation mit Hilfe des  $\chi^2$ -Anpassungstests durchgeführt. Mit Hilfe des statistischen Tests wurde ein

Signifikanzniveau  $\alpha$  erhoben. Die Ergebnisse gelten als signifikant, wenn  $p < \alpha$ . P-Werte kleiner als 0,05 wurden als signifikant gewertet.

Für die Darstellung der Werteverteilung wurde die Form eines Boxplots verwendet (Diagramm 1).



Diag. 1: Werteverteilung innerhalb eines Boxplots

Die erhobenen Daten wurden mit Hilfe des proprietären Datenbankmanagementsystems Microsoft Access verwaltet und archiviert. Für die Datenverarbeitung wurden die beiden Kalkulationsprogramme Microsoft Excel und MedCalc verwendet.

### **3. Ergebnisse**

#### **3.1 Durchführbarkeit und Befundqualität der präklinischen Notfallsonographie**

Von den 62 eingeschlossenen Patienten, konnten 56 zufriedenstellend untersucht werden. In 2 Fällen ließ der Batteriestatus eine Untersuchung nicht mehr zu. In 4 Fällen wurde die Bildqualität durch einfallendes Sonnenlicht stark eingeschränkt, so dass eine Befundinterpretation nicht möglich war.

Die Ultraschalluntersuchung wurde entweder am Einsatzort (65%) oder im Rettungswagen (35%) durchgeführt. Bei vital bedrohten Patienten die besonders schnell in einer Notaufnahme oder auf einer Intensivstation vorgestellt werden sollten, wurde die Ultraschalluntersuchung während des Transports absolviert. Für die Ultraschalluntersuchung am Einsatzort wurde der Zeitpunkt so gewählt, dass der Einsatz in seinem Ablauf nicht kompromittiert wurde. Es wurden Zeitfenster genutzt, die sich durch das Legen von Venenverweilkanülen oder das Vorbereiten von Infusionen und des Transports ergaben.

Die Dauer der Ultraschalluntersuchung wurde vom behandelnden Notarzt erfasst und dokumentiert. Eine Gesamtzeit von 5 Minuten durfte nicht überschritten werden. Im Durchschnitt betrug die Untersuchungszeit mit dem p-CHEST Algorithmus 2,0 Minuten (Schwankungsbreite 1-5 Minuten). (Diagramm 2)

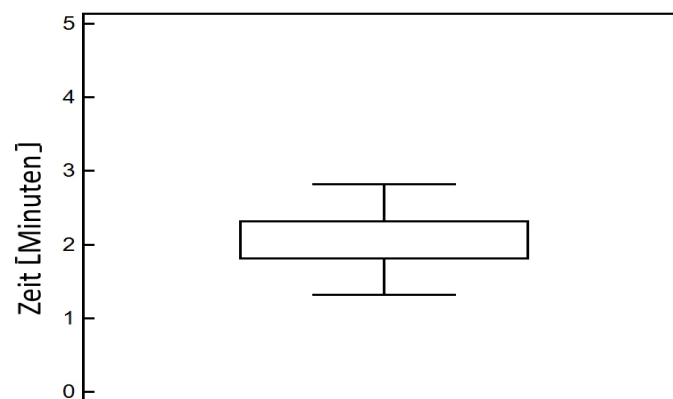
Neben der Dauer bewertete der untersuchende Arzt die Befundqualität als gut, mittelmäßig oder schlecht. Dabei wurde die Befundqualität in 27% der Einsätze als gut, zu 44,5 % als mittelmäßig und in 28,5% der Fälle als schlecht gewertet. (Diagramm 3)

Entscheidend zur Befundqualität und der Dauer der Ultraschalluntersuchung korrelierte der Body-Mass-Index der Patienten. Die Befundqualität bei Patienten mit einem BMI von  $< 30 \text{ kg/m}^2$  wurde für gut bzw. mittelmäßig erachtet, wohingegen ein BMI von  $> 30 \text{ kg/m}^2$  mit einer schlechten Befundqualität assoziiert war. Bei Patienten mit extrem schlechten

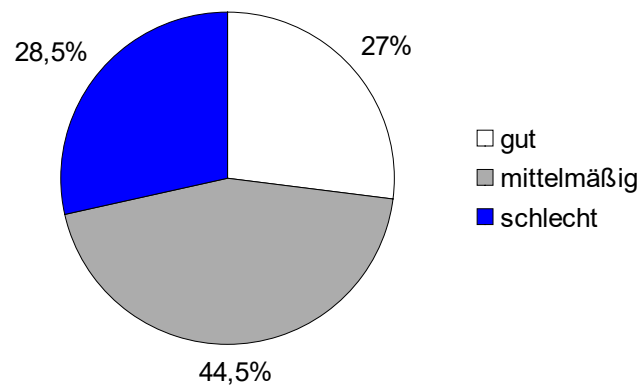


Schallbedingungen ( $\text{BMI} > 40 \text{ kg/m}^2$ ) waren manche Aspekte der Untersuchung überhaupt nicht beurteilbar. Auch die Lichtverhältnisse konnten sich negativ auf die Befundqualität auswirken.

In den Untersuchungen mit sehr guter Befundqualität betrug die mittlere Untersuchungszeit 1,8 Minuten. Bei deutlich eingeschränkter Befundqualität verzögerte sich die Ultraschalluntersuchung im Mittel auf 3,4 Minuten.



Diag. 2: Werteverteilung der jeweiligen Dauer der p-CHEST Untersuchung mittels Boxplot



Diag. 3: Darstellung der Befundqualität der p-CHEST Untersuchung

## des Patientenkollektivs mit Dyspnoe und/oder Thoraxschmerz

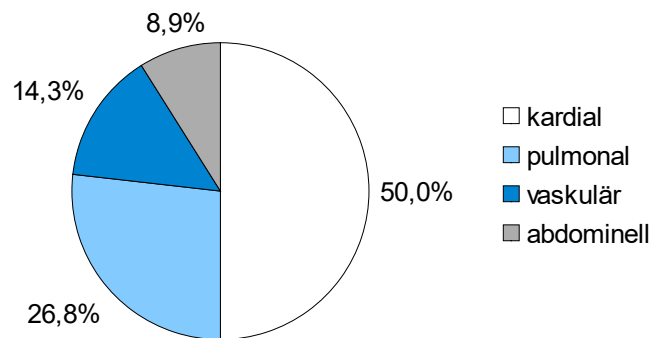
Alle Patienten, die mit dem p-CHEST Algorithmus untersucht wurden, wurden in der Notaufnahme oder auf der Intensivstation vorgestellt. Dort wurden die Patienten entsprechend ihrer Anamnese und ihrer Symptomatik weiter untersucht. Sei erhielten eine Labordiagnostik und wenn erforderlich ein Röntgen, ein CT oder einen Herzultraschall, um eine Verdachtsdiagnose stellen zu können. Abgesehen von 3 Patienten wurden alle Patienten stationär aufgenommen. Die klinischen Diagnosen der Patienten mit Dyspnoe und/oder Thoraxschmerz wurden aus den Arztbriefen entnommen und in 4 Gruppen unterteilt: kardiale, pulmonale, vaskuläre und abdominale Erkrankungen. (Diagramm 4)

Bei der Hälfte der Patienten konnte eine kardiale Erkrankung (50,0%, n=28) als Ursache der Symptomatik erfasst werden. Darunter befanden sich Patienten mit symptomatischen Arrhythmien sowie kardialer Dekompensation anderer Genese. Patienten mit Akutem Koronarsyndrom und relevantem Perikarderguss wurden ebenso unter dieser Gruppe subsumiert.

Erkrankungen pulmonalen Ursprungs waren die zweit häufigste erfasste Diagnose (26,8%, n=15). In dieser Subgruppe stellte die infektexazerbierte COPD (n=10, 17,9%) die am häufigsten gestellte Diagnose dar. Bei 5 Patienten wurde eine Pneumonie diagnostiziert.

In 14,3% der Fälle konnte die Erkrankung auf eine vaskuläre Störung, wie pulmonalarterielle Embolie oder Aortendissektion zurückgeführt werden.

In 8,9% (n=5) der Fälle wurde eine abdominale Ursache für die Luftnot oder die thorakalen Schmerzen eruiert. Bei 4 Patienten bestand eine Subileusproblematik. Bei einem Patienten mit rechtsthorakalen Schmerzen konnte eine akute Cholezystitis mit Wandverdickung und 3-Schichtigkeit bei Cholezystolithiasis diagnostiziert werden.



Diag. 4: Graphische Aufstellung der Ursache der Dyspnoe und/oder Thoraxschmerz nach Genese.

### 3.3 Befunde der Notfallthoraxsonographie

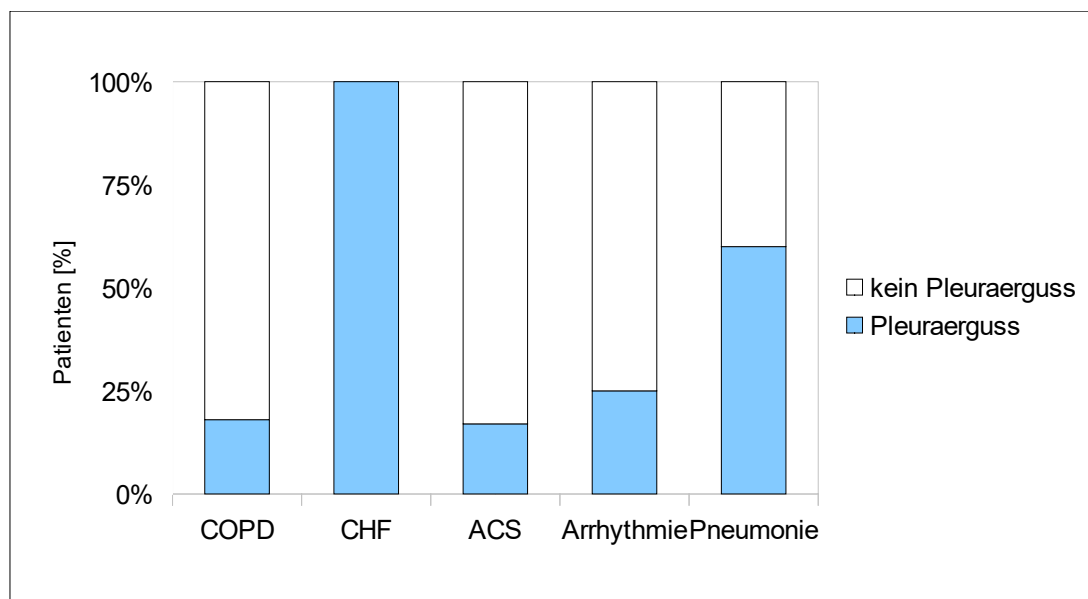
#### 3.3.1 Pleuraergüsse

Insgesamt wurden bei 19 der 56 untersuchten Patienten (33,9%) Pleuraergüsse festgestellt. Bei etwa der Hälfte der Patienten (n =10) mit Pleuraergüssen wurde die Größe des Pleuraergusses auf > 500 ml geschätzt (17,9%). Pleuraergüsse wurden am häufigsten in der Gruppe der kardialen Erkrankungen detektiert. Von den 28 Patienten dieser Subgruppe hatten 14 einen Pleuraerguss. Besonders häufig zeigten sich Pleuraergüsse bei Patienten mit einer dekompensierten Herzinsuffizienz (n=11). Bei jedem dieser Patienten wurde ein Pleuraerguss nachgewiesen (100%). Ganz im Gegensatz zu Patienten mit einem akuten Koronarsyndrom: von den 12 Patienten dieser Subgruppe wurde nur bei zwei Patienten ein Pleuraerguss detektiert. Seltener wurden Pleuraergüsse bei Patienten mit Luftnot pulmonaler Genese festgestellt.

Von 15 Patienten dieser Gruppe fand man lediglich bei einem Drittel (n=5) einen Erguss. Bei den insgesamt 5 Patienten, die an einer Pneumonie litten, ließ sich in 3 Fällen ein Erguss nachweisen (60%), wohingegen man bei den 10 Patienten mit exazerbierter COPD ein Erguss nur bei 2 Patienten sonographisch sichern konnte (20%). (Diagramm 5)

In der Subgruppe der vaskulären und abdominellen Erkrankungen, in der sich Patienten mit dem klinischen Leitsymptom Luftnot präsentierten, konnte interessanterweise kein Pleuraerguss sonographisch nachgewiesen werden.

Insgesamt konnte der Nachweis eines Pleuraergusses als signifikanter Parameter zur Differenzierung der drei am häufigsten gestellten Diagnosen herangezogen werden: dekompensierte Herzinsuffizienz 100%, infektexazerbierte COPD 20% und akutes Koronarsyndrom 17% ( $p < 0,01$ ). Die Spezifität beträgt 82%. Vor allem die Differenzierung von beginnender kardialer Dekompensation mit Lungenödem und exazerbierter COPD kann ohne Ultraschall bei ähnlichem Auskultationsbefund im Sinne expiratorischen Giemens erschwert sein.

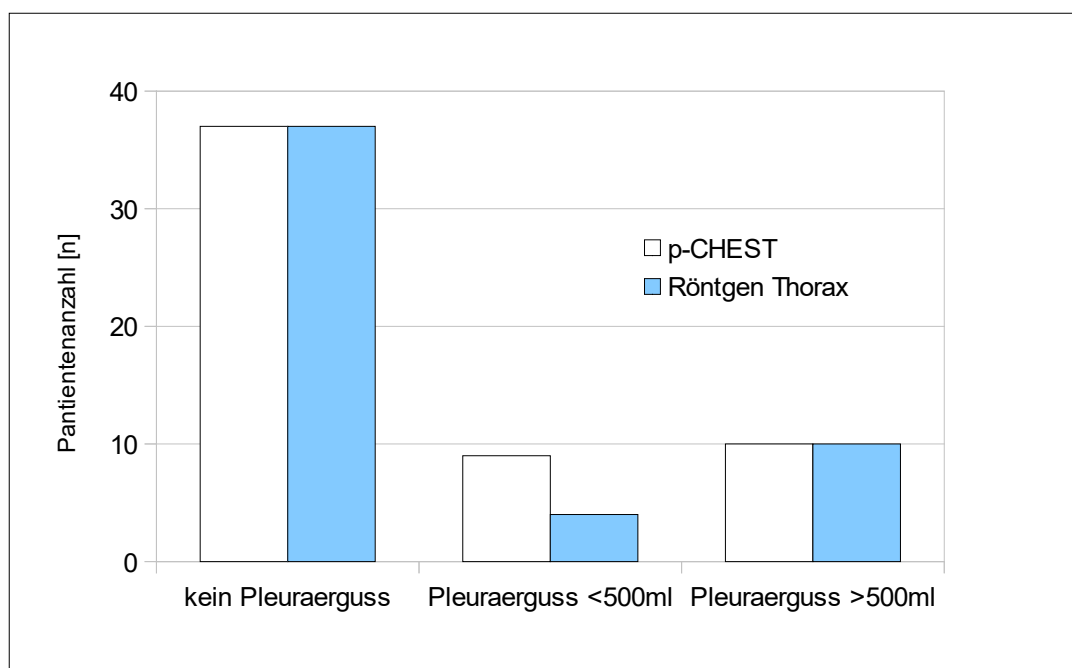


Diag. 5: Die Häufigkeit (%) des Auftretens von Pleuraergüssen entsprechend der klinischen Diagnose in der Notaufnahme. COPD (n=10); CHF(n=11); Arrhythmie (n=4); ACS (n=12), Pneumonie (n=5)

Die Ergebnisse der präklinischen Sonographie wurden im Nachhinein mit den Befunden

bildgebender Verfahren aus der Klinik verglichen. (Diagramm 6)

So konnte mit Hilfe von Röntgenaufnahmen bei allen 10 Patienten mit einem großen Pleuraerguss dieser in der Klinik verifiziert werden. Bei Patienten mit einem kleineren Erguss (n=9) konnte das Vorliegen eines Pleuraergusses nur bei 4 Patienten durch eine Röntgenaufnahme reproduziert werden, was aber die höhere Sensitivität der Sonographie in Bezug auf Pleuraergüsse betont.[39] Bei Patienten, bei denen sonographisch kein Pleuraerguss nachgewiesen werden konnte, wurde auch röntgenologisch in keinem Fall ein Pleuraerguss detektiert.



Diag. 6: Vergleich zwischen p-CHEST und Röntgen Thorax in Bezug auf Nachweis von Pleuraergüssen

### 3.3.2 Eingeschränkte linksventrikuläre Funktion

Eine auf < 50% reduzierte LV-Funktion ließ sich in 23,2% der Fälle (n=13) nachweisen. Bei Patienten, bei denen in der Klinik durch Nachweis einer pulmonalvenösen Stauung im Röntgen Thorax eine dekompensierte Herzinsuffizienz (n=11) gesichert wurde, ließ sich in 72,7% präklinisch eine Einschränkung der linksventrikulären Pumpfunktion feststellen. In allen Fällen, in denen präklinisch die LV-Funktion als reduziert eingeschätzt wurde, bestätigte sich dieser Befund durch eine Echokardiographie in der Klinik. Bei 5 Patienten mit präklinisch als normal eingeschätzter LV-Funktion wurde innerklinisch echokardiographisch eine mindestens geringgradig eingeschränkte linksventrikuläre Pumpfunktion beschrieben. Hieraus ergibt sich für den p-CHEST Algorithmus eine Sensitivität von 61,9%. Die Spezifität beträgt 100%.

### 3.3.3 Perikarderguss bzw. –tamponade

Ein Perikarderguss konnte bei 11 aller 56 Patienten nachgewiesen werden (19,6%), von denen einer durch seine Größe und Kompression des rechten Vorhofes als hämodynamisch relevant eingestuft wurde. Eine umgehende Ultraschalluntersuchung auf der Intensivstation bestätigte die präklinisch gestellte Diagnose und eine Perikardpunktion mit Drainagenanlage wurde durchgeführt.

Alle präklinisch detektierten Perikardergüsse konnten auch durch eine Echokardiographie in der Klinik bestätigt werden, wobei die Diskriminierung zwischen präkordialem Fett und Erguss nicht immer möglich ist.

Im Gegensatz zu den Pleuraergüssen war das Verteilungsmuster der Perikardergüsse in Bezug auf die Grunderkrankung ausgeglichen. So ließ sich bei 22% der Patienten mit einer kardialen Erkrankung und bei 20% der Patienten mit einer pulmonalen Störung ein Perikarderguss nachweisen. Das Vorliegen von einem Perikarderguss lässt sich demzufolge nicht heranziehen, um die Luftnot eines Patienten auf eine kardiale oder pulmonale

Erkrankung zurückzuführen.

Bei allen Patienten, bei denen durch die präklinische Thoraxsonographie ein Perikarderguss ausgeschlossen werden konnte, wurde auch im klinischen Setting kein Perikarderguss durch eine Herzultraschalluntersuchung nachgewiesen.

### 3.3.4 Pneumothorax

Spontane, nicht-traumatische Pneumothoraces sind im Rettungsdienst zwar selten, dürfen aber nicht übersehen werden. Als Hinweis für eine Verdachtsdiagnose gilt eine typische Anamnese mit akut einsetzender Symptomatik. Betroffen sind vor allem junge, schlanke Männer oder Patienten mit Raucheranamnese, bullösem Emphysem und heftigem Hustenstoß. Die einzigen diagnostischen Hilfen zur Erkennung eines Pneumothorax am Einsatzort sind Auskultation und Perkussion, welche sich in einer oft lauten präklinischen Umgebung teilweise schlecht durchführen lassen. Sonographisch kann das Vorliegen eines Pneumothorax durch das Vorhandensein des Lungenpulses und dem fehlenden atemabhängigen Verschieben der Pleurablätter gegeneinander diagnostiziert werden. In unserer Studienpopulation konnte bei allen Patienten das Vorliegen eines Pneumothorax ausgeschlossen werden, was auch durch Röntgen- oder CT-Aufnahmen in der Klinik bestätigt wurde.

### 3.3.5 Rechtsherzbelastung

Eine akute Rechtsherzbelastung, die sich sonographisch mit erweitertem rechten und abgeflachtem linken Ventrikel sowie Septumdeviation darstellt, wurde bei 2 der 56 Patienten (3,6%) gefunden und in Zusammenschau der klinischen Symptomatik und der Anamnese, der Verdacht auf eine fulminante Lungenarterienembolie geäußert. In beiden Fällen bestätigte sich der Verdacht durch die Ergebnisse der CT-Angiographie und der

Echokardiographie. Bei beiden Patienten machte der klinische Zustand eine intrahospitale Lysetherapie erforderlich.

In jedem Fall, in dem durch die präklinische sonographische Untersuchung eine akute Rechtsherzbelastung ausgeschlossen wurde, konnte dies in der Klinik echokardiographisch bestätigt werden.

### 3.4 Diagnostische und therapeutische Wertigkeit der präklinischen Ultraschalluntersuchung

Zusätzlich zu den sonographischen Befunden dokumentierten die Notärzte, ob ihnen die Ergebnisse der Ultraschalluntersuchung differentialdiagnostisch von Nutzen waren.

In vielen Fällen sind die diagnostischen Möglichkeiten, die man ohne ein Ultraschallgerät auf einem Notarztwagen hat, ausreichend, um eine zielführende Diagnose stellen zu

können. Durch das Erheben einer Anamnese sowie eines körperlichen

Untersuchungsbefundes, das Messen von Vitalparametern und das Schreiben eines EKG, lassen sich viele Informationen sammeln. Jedoch ergeben sich ohne weiterführende bildgebende Diagnostik manchmal Grenzen. Insbesondere das Diskriminieren zwischen exazerbierter COPD und beginnender kardialer Dekompensation kann bei ähnlichem Auskultationsbefund und ähnlichem Krankheitsverlauf schwierig sein.

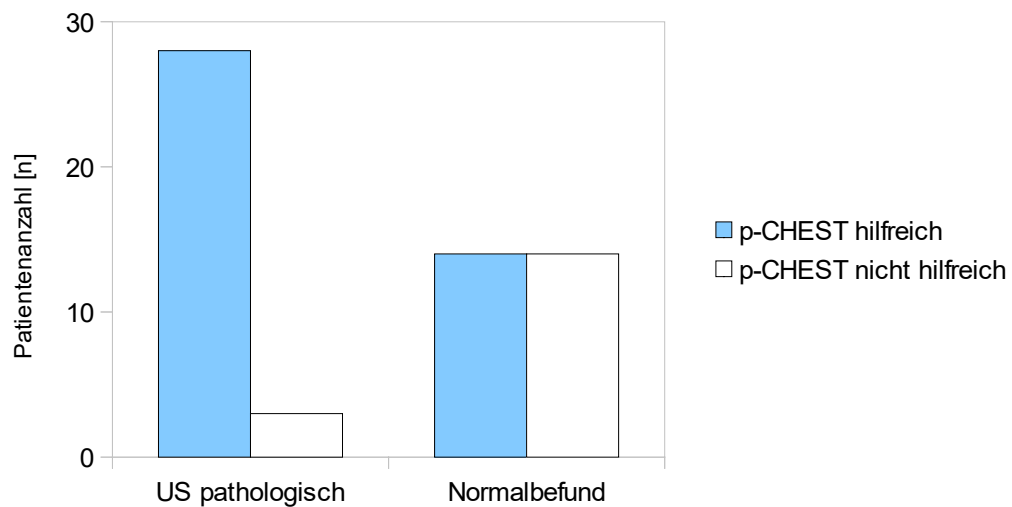
Nach Angaben der Notärzte erbrachte die Ultraschalluntersuchung nach dem p-CHEST Algorithmus in insgesamt 67,9% der Fälle (n=38) zusätzliche diagnostische Informationen. Interessanterweise wurden aber nur in 50,0% (n=28) der Untersuchungen sonographisch morphologische Korrelate zu Erkrankungen gefunden. In den anderen Untersuchungen konnte ein Normalbefund erhoben werden. Das zeigt, dass es für den Notfallmediziner von Bedeutung war, durch physiologische Befunde bestimmte Diagnosen ausschließen zu können. (Diagramm 7)

Die Thoraxsonographie erwies sich besonders von Nutzen zur Identifikation von Patienten



mit dekompensierter Herzinsuffizienz (100%), pulmonaler arterieller Embolie (100%) und COPD (70%). Im Gegensatz dazu war die Ultraschalluntersuchung bei Patienten mit akutem Koronarsyndrom (58%) weniger hilfreich.

Bei einem Viertel der Patienten (n=14) ergaben sich therapeutische Konsequenzen aus den Befunden der Ultraschalluntersuchung. So profitierten vor allem Patienten, bei denen durch eine verminderte linksventrikuläre Pumpfunktion und Nachweis eines Pleuraergusses der Verdacht auf eine dekompensierte Herzinsuffizienz gestellt wurde, von einer frühen Diuretika- und Vasodilatatorenanplikation und einer restriktiveren Volumengabe (n=11). In den beiden Fällen mit V.a. akute Lungenarterienembolie wurde eine therapeutische Antikoagulation initiiert. Hingegen wurde in einem anderen Fall, in dem die sonographischen Ergebnisse auf eine Perikardtamponade hindeuteten und eine Perikardpunktion erforderlich war, auf eine Antikoagulation verzichtet.



Diag. 7: Korrelation zwischen Ultraschallbefund und diagnostischem Nutzen

## 4. Diskussion

In den letzten Jahren nimmt die Bedeutung der Notfallsonographie in der Klinik deutlich zu. In Bezug darauf steckt der präklinische Einsatz von Ultraschallgeräten noch in den Kinderschuhen. In dieser Pilotstudie evaluierten wir erstmals die Durchführbarkeit und den diagnostischen sowie therapeutischen Wert von Ultraschalluntersuchungen mit einem neuen Algorithmus bei internistischen Patienten mit Dyspnoe und/oder Thoraxschmerz in einer präklinischen Umgebung.

Unsere Daten zeigen, dass weder die Dauer der Untersuchung noch die Durchführbarkeit in dieser Umgebung relevant negativ beeinflusst wurden.

Das Problem, dass ein verzögerter Transport in die Klinik dem Patienten schaden könnte, kann durch den Algorithmus, der im Durchschnitt 2 Minuten in Anspruch nimmt und gegebenenfalls bei kritischen Patienten während des Transports durchgeführt werden kann, minimiert beziehungsweise umgangen werden.

Auch wenn die Ergebnisse für die Durchführbarkeit grundsätzlich sehr positiv gewertet werden können, gibt es doch bestimmte Hindernisse im Ablauf oder der Handhabung, welche sich erst im Verlauf der Studie offenbarten, für die es noch Diskussions- und Lösungsbedarf gibt.

In 2 Fällen ließ der Batteriestatus des Ultraschallgerätes eine Untersuchung nicht zu. Aus Platzmangel erfolgte das Laden des Akkus und des Ersatzakkus nicht im Notarztwagen sondern auf der Rettungswache. Die Verfügbarkeit von geladenen Akkus könnte durch die Integration der Ladestationen in das Equipment des Notarztwagens erhöht werden. Andere technische Probleme traten im Rahmen unserer Studie nicht auf. Denkbar wären aber auch beispielsweise Verzögerungen durch Probleme der Software.

Die Ultraschalluntersuchung wurde sowohl am Einsatzort als auch im Rettungswagen durchgeführt. Für beide Orte können sich neben Vorteilen gewisse Nachteile in der Durchführbarkeit ergeben.

Im Rettungswagen wurde die Untersuchung vor allem durch den limitierten Platz und die eingeschränkte Zugänglichkeit zum Patienten erschwert. Auch ein ungünstiger Lichteinfall auf den Monitor konnte die Bildqualität entscheidend verschlechtern. Darüber hinaus musste die Ultraschalluntersuchung sowohl mit der rechten als auch mit der linken Hand durchgeführt werden, was vor einem notärztlichen Einsatz spezifisch geübt werden sollte. Als positiv zu werten ist, dass die Lage des Patienten für die Untersuchung besser auf einer Trage anzupassen ist.

Die Sonographie am Einsatzort zeichnete sich durch ein größeres Platzangebot und eine bessere Zugänglichkeit zum Patienten aus. Auch konnte die Ultraschalluntersuchung dann durchgeführt werden, wenn der Transport des Patienten in den Rettungswagen vorbereitet wurde, so dass eine optimale Nutzung der zur Verfügung stehenden Zeit erreicht werden konnte. Von Nachteil ist, dass der Einsatzort tendenziell heller ist als der Rettungswagen, worunter die Bildqualität leiden kann. Diese Beobachtung spiegelt sich auch in den Ergebnissen der Autorengruppe Brun *et al.* wieder.[9] In ihrer prospektiven Beobachtungsstudie zu dem eFAST Konzept (extended focused Assessment of Sonography in Trauma) bei traumatologischen Patienten begegneten sie ähnlichen Problemen bei der Umsetzung der Ultraschalluntersuchung. Bei traumatologischen Patienten kommt zudem das Problem der Immobilität zum Tragen. Die Patienten werden meist liegend transportiert, so dass eine aufrechte Position zur Untersuchung auf Pleuraergüsse erschwert wird. Weiterhin kann die Verwendung von Vakuummatratzen die Zugänglichkeit zum Patienten einschränken. Die Autoren verglichen zudem die Validität ihrer Untersuchungsergebnisse, welche am Untersuchungsort erhoben wurden, mit denen, die während des Patiententransportes ermittelt wurden. Ein signifikanter Unterschied bestand zwischen beiden Gruppen nicht.

In unserem Patientenkollektiv war die adäquate und schnelle Evaluation einer

Rechtsherzbelastung oder der linksventrikulären Funktion im subxyphoidalen 4-Kammerblick durch die Verwendung eines 2-5 MHz 60 mm Konvexschallkopfes beeinträchtigt. Der Wechsel auf den Sektorschallkopf war insbesondere bei adipösen Patienten häufig erforderlich.

Insgesamt betrug die Untersuchungszeit im Durchschnitt 2 Minuten. Die Dauer der Untersuchungszeit und die Befundqualität korrelierten eindeutig mit dem BMI der Patienten. Bei besonders adipösen Patienten ( $\text{BMI} > 40 \text{ kg/m}^2$ ) waren manche Aspekte der Untersuchung kaum zu beurteilen.

Neben der Durchführbarkeit sollte geklärt werden, ob die Sonographie potentiell als Hilfsmittel geeignet ist, die präklinische Diagnose- und Therapiefindung zu unterstützen. Unsere Daten zeigen, dass sich für den Arzt in den meisten Fällen durch die zusätzlich erhobenen Befunde differentialdiagnostisch wertvolle Informationen generieren ließen (68%). Interessant war die Beobachtung, dass selbst ein unauffälliger Ultraschallbefund für die Notärzte durch den Ausschluss einer Diagnose einen Nutzen darstellt.

Besonders die Patienten deren Luftnot durch eine dekompensierte Herzinsuffizienz hervorgerufen wurde, konnten durch den Nachweis eines Pleuraergusses identifiziert werden. In dieser Gruppe ergaben sich am häufigsten therapeutische Konsequenzen aus den erhobenen Befunden. Die Abwesenheit eines Pleuraergusses schloss eine dekompensierte Linksherzinsuffizienz mit hoher Wahrscheinlichkeit aus und erleichterte die aufgrund des ähnlichen Auskultationsbefundes teilweise schwierige Differenzierung zu Patienten mit einer exazerbierten COPD.

Die korrekte Diagnose beeinflusst das weitere therapeutische Vorgehen jedoch nicht nur in Hinblick auf die Gabe von Medikamenten wie Broncholytika, Vasodilatoren oder Diuretika. Auch die Auswahl des Verfahrens für nicht-invasive Beatmung kann zielführend erfolgen und sich positiv auf das Outcome auswirken.

Nicht-invasive Beatmung umfasst eine ventilatorische Unterstützung ohne die Notwendigkeit einer Intubation. Bei der nicht-invasiven Beatmung wird zwischen der CPAP-

Therapie und der BiLevel-Beatmung unterschieden.

CPAP steht für continuous positive airway pressure. Ziel ist das Aufrechterhalten eines positiven Atemwegsdruckes, um die Atemwege während der Inspiration und der Expiration offen zu halten. Generiert wird dieser mit Hilfe einer dicht sitzenden Maske, einer kontinuierlichen O<sub>2</sub>-Zufuhr und einem Expirationsventil, das auf den gewünschten Druck, z.B. 5mmHg, eingestellt wird.[43] Ein Beatmungsgerät ist nicht erforderlich. Der gewählte Druck richtet sich nach dem Therapieziel, der Compliance des Patienten und seiner Konstitution. Patienten mit einem großen Bauchumfang durch Adipositas oder Aszites, bedürfen eines höheren Druckniveaus, da der intraabdominelle Druck dem intrathorakalen Druck entgegen steht.

Die BiLevel-Beatmung ist eine echte Beatmungsform und erfordert den Einsatz eines Beatmungsgerätes. Das Beatmungsgerät generiert sowohl einen höheren inspiratorischen Druck als auch einen expiratorischen Druck.

Beide Therapieformen waren in klinischen Studien mit einer geringeren Intubationsrate und Mortalität assoziiert,[23, 43] wobei die Therapieform anhand der Grunderkrankung gewählt werden soll.

Bei Patienten mit einem kardiogenen Lungenödem kommt die CPAP-Therapie zum Einsatz. Patienten mit einem kardiogenen Lungenödem leiden üblicherweise an einer respiratorischen Partialinsuffizienz mit Hypoxie. Der Hypoxie liegt zum einen eine Diffusionsstörung durch interstitielle Flüssigkeitsvermehrung bei pulmonalvenöser Stauung zugrunde.[73] Zum anderen bewirkt das Vorhandensein von Pleuraergüssen Dystelektasen und somit die Abnahme der effektiven Gasaustauschfläche. Es sind dann Alveolarbezirke vorhanden, die gut perfundiert aber nicht ventiliert werden. Durch ein Ventilations-/Perfusions-Mismatch kommt es zur Ausbildung von einem Rechts-Links-Shunt also zur Beimischung von sauerstoffarmem venösen Blut zu sauerstoffreichem arteriellen Blut. Die Sauerstoffsättigung sinkt. Der Patient generiert ein erhöhtes Atemminutenvolumen, um die

Hypoxie zu kompensieren. Aufgrund der vermehrten Atemarbeit kommt es aber konsekutiv zur Hypokapnie. Mit Hilfe der CPAP-Therapie kann die Sauerstoffzufuhr für die belüfteten Areale erhöht werden. Zudem bewirkt der positive intrathorakale Druck eine Rekrutierung der dystelektatischen Areale und somit eine Zunahme der effektiven Gasaustauschfläche. Auch ein positiver Effekt durch Vor- und Nachlastsenkung ist beschrieben.[41] Die CPAP-Therapie hat im Gegensatz zur BiLevel-Beatmung keine Erhöhung des Atemminutenvolumens zur Folge. Bei hypokapnischen Patienten kann eine akute zusätzliche Erhöhung des Atemminutenvolumens die Hypokapnie bis zur zerebralen Vasokonstriktion mit Auftreten von konvulsiven Synkopen aggravieren und sollte daher, wenn möglich, nicht ohne Blutgasanalysen angewendet werden.[29]

Im Gegensatz zum kardiogenen Lungenödem mit Diffusionsstörung und Perfusions-/Ventilationsmismatch steht bei Patienten mit exazerbierter COPD eine Ventilationsstörung im Vordergrund. Die Ventilationsstörung kommt durch die Obstruktion und die Überblähung zustande, da beide Faktoren das intrathorakale Gasvolumen und somit die Totraumventilation erhöhen. Eine Verminderung der Ventilation hat einen Anstieg des CO<sub>2</sub>-Partialdrucks und einen Abfall des O<sub>2</sub>-Partialdrucks zur Folge, der Patient entwickelt eine respiratorische Globalinsuffizienz.[73] Für die Behandlung der COPD steht neben der medikamentösen Beseitigung der Obstruktion die Behandlung der Ventilationsstörung durch nicht-invasive Beatmung im Vordergrund. Das Beatmungsverfahren der Wahl ist die BiLevel Beatmung. Das Verfahren eignet sich, da sich durch Vorgabe eines inspiratorischen und expiratorischen Druckes das Atemminutenvolumen erhöhen lässt, um so vor allem die CO<sub>2</sub>-Elimination zu begünstigen. Darüber hinaus lässt sich am Beatmungsgerät eine lange Expirationszeit einstellen, um der Überblähung entgegenzuwirken. Die maschinelle Unterstützung bewirkt zudem eine Entlastung der Atemmuskulatur. Eine alleinige Sauerstoffapplikation kann die Hyperkapnie sogar verstärken, da der Atemantrieb bei COPD-Patienten von einem niedrigen Sauerstoffpartialdruck abhängt. Wird lediglich der Sauerstoffpartialdruck durch Sauerstoffzufuhr angehoben, kann der Atemantrieb und somit die Ventilation reduziert werden, wodurch der CO<sub>2</sub>-Partialdruck ansteigt, und eine

Vigilanzminderung entstehen kann.[37]

Insbesondere bei respiratorisch kompromittierten Patienten mit Dyspnoe und/oder Thoraxschmerz muss eine Therapie frühzeitig eingeleitet werden, um eine drohende Intubation abwenden zu können. Bereits die S3-Leitlinie zur Therapie der akuten respiratorischen Insuffizienz von 2008, herausgegeben von der Deutschen Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V., räumt der nicht-invasiven Beatmung einen hohen Stellenwert ein.[17] Auf Intensivstationen und in Rettungsstellen hat sich das Verfahren bereits etabliert, doch da der Rettungsdienst häufig zuerst Kontakt zu Patienten mit respiratorischer Insuffizienz hat, kommt die nicht-invasive Beatmung zunehmend bereits präklinisch zum Einsatz.[5, 32]

In einer präklinischen Studie im Rettungsdienst Mittelhessen von Jerrentrup *et al.* wurde die Wirksamkeit von CPAP-Therapie bei Patienten mit einem vermuteten Lungenödem evaluiert. Trotz einer Ausgangssauerstoffsättigung von 82% unter 7,5l O<sub>2</sub> betrug die Intubationsrate lediglich 7,4%.[32] In einer ähnlichen Studie von Bledsoe *et al.* an 340 Patienten wurde eine Intubationsrate von lediglich 5,6% beschrieben.[5] Von Vorteil ist neben der Vermeidung einer Analgosedierung der Erhalt der Schutzreflexe und der Kommunikationsfähigkeit.

Da präklinisch der Zugang zu Blutgasanalysen extrem limitiert ist und sich das Beatmungsverfahren primär danach richtet, ob ein hypoxisches oder hyperkapnisches respiratorisches Versagen vorliegt, wird die klinische Differenzierung zwischen exazerbierter COPD und kardiogenem Lungenödem betont.

Auffallend ist eine Kongruenz unserer Beobachtungen mit den Daten, welche kürzlich von Kataoka *et al.* veröffentlicht wurden. Sie verglichen klinische, sonographische und radiologische Zeichen bezüglich des Vorliegens eines Pleuraergusses bei 60 Patienten mit dekompensierter Herzinsuffizienz und 20 gesunden Probanden. Die Autoren berichten eine hohe Inzidenz (91%) eines sonographisch nachgewiesenen Pleuraergusses und das Vorliegen einer dekompensierten Herzinsuffizienz. Der positiv prädiktive Wert beträgt 91%.

Im Vergleich dazu wurden Patienten mit dekompensierter Herzinsuffizienz anhand klinischer oder radiologischer Zeichen von Flüssigkeitsverteilungen nur zu 33-56% identifiziert.[33, 34]

Auch wenn aufgrund des Nachweises eines Pleuraergusses alle Patienten mit dekompensierter Herzinsuffizienz erfasst werden konnten, muss beachtet werden, dass ein Pleuraerguss keine Bedingung für die Diagnose einer kardialen Dekompensation darstellt und dass die Daten aufgrund einer kleinen Fallzahl und einem hohen Anteil kritisch kranker Patienten nicht auf alle Patientenkollektive übertragen werden können. Zudem lässt sich durch den Nachweis einer normalen linksventrikulären Funktion keine Herzinsuffizienz ausschließen. In den Leitlinien der European Society of Cardiology aus dem Jahr 2012 findet sich eine linksventrikuläre Reduktion als Ursache einer Herzinsuffizienz nur in etwa 50% der Fälle. Bei der anderen Hälfte besteht eine Herzinsuffizienz trotz erhaltener linksventrikulärer Funktion.[46] So können beispielsweise valvuläre Störungen auch mit einer normalen linksventrikulären Funktion einhergehen. Zudem gewinnt die steigende Inzidenz an hypertensiven Herzerkrankungen mit diastolischer Dysfunktion und kardialer Dekompensation bei normaler linksventrikulärer Funktion zunehmend an Bedeutung. Die diastolische Dysfunktion hat visuell morphologisch kein entsprechendes Korrelat. Für den Nachweis einer diastolischen Herzinsuffizienz sind beispielsweise dopplersonographische Untersuchungen, wie zum einen das im pw-Doppler auf der Mitralklappenebene erfasste E/A Verhältnis, notwendig, welches die Druckverhältnisse während der linksventrikulären Füllung beschreibt. Zum anderen gibt es die Möglichkeit, mittels Kombination aus Tissue-Doppler Imaging und pw-Doppler Relaxationsgeschwindigkeiten des linken Ventrikel zu erfassen und in Hinsicht auf die diastolische Funktion zu bewerten. Diese Untersuchungen sind komplex und zeitaufwendig, da sie den Einsatz des Sektorschallkopfes mit Einstellung des apikalen 4-Kammerblickes in Linksseitenlage erfordern.[51] Die Integration der Evaluation der diastolischen Funktion und der Klappenfunktion in einen präklinischen Algorithmus erscheint nicht praktikabel, die Aussagekraft in Bezug auf die kardiale Funktion



ist dadurch jedoch limitiert.

Auch die Untersuchung auf eine eingeschränkte linksventrikuläre Funktion erwies sich als Diagnostikum für die dekompensierte Herzinsuffizienz mit einer Sensitivität von 61,9% als eingeschränkt zielführend. Die eingeschränkte Sensitivität zeigt, dass die monoplane subxyphoidale Darstellung des linken Ventrikels nicht ausreichend geeignet ist, eine erniedrigte LV-Funktion nachzuweisen. Dafür gibt es mehrere Gründe: Zum einen ist die Schallbarkeit insbesondere von adipösen Patienten oder Patienten mit geblähtem Abdomen deutlich reduziert, zum anderen lässt sich lediglich ein Teil des Septums, des Apex und der lateralen Wand beurteilen. Die Vorderwand und die inferioren Wandabschnitte können nicht eingesehen werden. Darüber hinaus ist die bloße visuelle Beurteilung der LV-Funktion mit einer hohen Ungenauigkeit behaftet. Die Formel für die Berechnung der linksventrikulären Funktion lautet:

$$\frac{[(\text{enddiastolisches Volumen} - \text{endsystolisches Volumen}) / \text{enddiastolisches Volumen}] \times 100}{= \text{Ejektionsfraktion \%}}$$

Aber für die Berechnung von einem Volumen reicht die Kenntnis in einer Ebene nicht aus. Für eine valide Aussage zur linksventrikulären Funktion sollte jede Ebene mindestens biplan, am besten triplan, beurteilt werden. Für die korrekte Quantifizierung der Pumpfunktion müssen in mindestens 2 Ebenen die enddiastolischen und endsystolischen Volumina bestimmt und verrechnet werden.[51] Je nach Schallbedingungen und Erfahrung des Untersuchers kann dies unterschiedlich viel Zeit in Anspruch nehmen. Da die Bestimmung der LV-Funktion selbst für einen geübten Untersucher Schwierigkeiten bergen kann, erscheint eine Erweiterung des p-CHEST Algorithmus nicht sinnvoll.

Letztendlich gibt eine eingeschränkte Pumpfunktion nur einen Hinweis auf eine mögliche Genese der Dyspnoe. Viel zielführender erscheint der Nachweis des Lungenödems selbst. Ein relativ einfach sonographisch zu erhebender Parameter als Hinweis auf ein

Lungenödem bei kardialer Dekompensation sind B-Linien. B-Linien entstehen als optisches Phänomen an Grenzflächen, wenn sich im Lungengewebe eingeschlossene Flüssigkeit befindet. Diese eingeschlossene Flüssigkeit fungiert als Linse und erzielt einen Streuungseffekt. B- Linien werden im B-Mode nachgewiesen. Sie stellen sich als helle, vertikal verlaufende, unscharf begrenzte Artefakte dar, welche von der Pleura ausgehend bis an den Bildschirmrand reichen. Aufgrund ihrer Ähnlichkeit zu einem Kometschweif werden sie auch „Kometschweif-Artefakte“ genannt. Sie bewegen sich atemsynchron und können auch bei gesunden Probanden besonders laterobasal vereinzelt nachgewiesen werden. Vermehrt sich die interstitielle Flüssigkeit im Sinne eines Lungenödems, so vermehren sich die B-Linien. Mehr als 3 B-Linien pro Bildausschnitt machen ein Lungenödem wahrscheinlich. B-Linien treten jedoch auch im Rahmen einer interstitiellen Pneumonie oder einer Lungenfibrose auf.[70] Bereits 2005 wurde eine Studie durchgeführt, die die sonographisch erhobenen Befunde mit Thermodilutionsmessungen und invasiv gemessenen Wedge-Drücken verglich. Es ließ sich eine signifikant hohe Korrelation zwischen der Anzahl der B-Linien, dem extravaskulären Lungenwasser ( $p=0,001$ ) und dem Wedge Druck ( $p=0,01$ ) nachweisen. Die Studie von Agricola *et al.* erfolgte an 20 postoperativen herzchirurgischen Patienten.[1] Es wurden alle B-Linien in einem definierten Thoraxabschnitt gezählt. Die sonographische Untersuchung dauerte durchschnittlich 4,3 Minuten. Doch in der Folgezeit etablierte sich die Untersuchung auch für andere Patientenkollektive. In einer 2013 publizierten Studie von Miglioranza *et al.*[47] wurden ca. 100 ambulante Patienten untersucht, bei denen der V.a. eine kardiale Dekompensation bestand. Sie erhielten eine Lungensonographie, eine klinische Untersuchung, eine Echokardiographie und eine laborchemische Untersuchung auf NT-proBNP. Im Ergebnis korrelierte das Auftreten von B-Linien hochgradig mit dem gemessenem NT-proBNP ( $p < 0,0001$ ) als Marker der kardialen Dekompensation. Bei einer Sensitivität von 85%, einer Spezifität von 83% und einer mittleren Untersuchungsdauer von 56 Sekunden erscheint die Erweiterung des p-CHEST Algorithmus um eine Untersuchung auf B-Linien für eine akkurate Diagnosestellung hinsichtlich kardialer Dekompensation geeignet.

In unserer Studienpopulation war das Vorkommen von Perikardergüssen geringer als im Studienkollektiv Kataoka *et al.* Ein Patient mit komprimierendem Perikarderguss wurde adäquat durch eine Perikarddrainage behandelt.

Insgesamt wurde eine relativ hohe Zahl an geringgradigen Perikardergüssen erfasst. Differentialdiagnostisch kommt auch die Darstellung von präkordialem Fett in Frage. Da während unserer Datenerhebung kein Patient mit einem Spontanpneumothorax untersucht wurde, lässt sich eine Aussage über die Verlässlichkeit des p-CHEST Algorithmus in unserer Studienkohorte nicht treffen. Jedoch schreiben verschiedene Studien der Lungensonographie zur Diagnostik eines Pneumothorax eine höhere Sensitivität als der des Röntgen Thorax zu.[2, 53]

Der Nachweis einer Rechtsherzbelastung für die Diagnostik einer Lungenarterienembolie war neben der Evaluation der linksventrikulären Funktion der wohl am schwierigsten zu erhebende Befund im Rahmen der sonographischen Untersuchung. Es muss angemerkt werden, dass die Sensitivität der Echokardiographie in Hinblick auf den Nachweis einer Lungenarterienembolie je nach Literatur zwischen 56% und 79% liegt.[48, 62] Nicht jede Lungenarterienembolie geht mit einer Rechtsherzbelastung einher. Auch bei einer sonographisch visuell vorliegenden Rechtsherzbelastung ist eine Diskriminierung zwischen akuter und chronischer Rechtsherzbelastung ohne das Heranziehen spezifischer quantitativer und qualitativer Marker nicht möglich. Zu diesen spezifischen Markern zählt beispielsweise die enddiastolische rechtsventrikuläre Wanddicke der freien Wand im M-Mode oder der Exkursion des rechtsventrikulären Apex.[56] Jedoch konnten beide Patienten mit akuter Rechtsherzbelastung erfasst und adäquat therapiert werden. Die Verlässlichkeit der präklinischen sonographischen Befunde konnte im Rahmen der Studie, im Vergleich zu bildgebenden Untersuchungen in der Klinik, als hoch angesehen werden.

Man muss insgesamt darauf hinweisen, dass Daten der Studie von 4 erfahrenen Ärzten

erhoben wurden. Zudem war das untersuchte Studienkollektiv in dieser Pilotstudie klein. Eine Verzerrung des Patientenkollektivs zu Gunsten kritisch kranker Patienten kommt durch die Tatsache zustande, dass die Versorgung dieser Patienten ein notarztbesetztes Rettungsmittel erforderlich macht. Patienten in einem stabilen Zustand können primär allein durch Rettungsassistenten versorgt und transportiert werden und wurden nicht in unserer Evaluation erfasst.

Ob eine Übertragung des p-CHEST Algorithmus auf eine größere Gruppe von möglicherweise unerfahrenen ärztlichen Untersuchern oder z.B. Notfallsanitätern zu einer schlechteren Befundqualität oder Verzögerung des Patiententransportes führt, sollte in weiteren Studien mit einer größeren Fallzahl eruiert werden.

Besonders in Ländern mit „anglo-amerikanischem Modell“ des Rettungsdienstes, mit geringerem Anteil an präklinisch eingesetzten Notärzten, werden bereits vermehrt Studien über die Ausbildung von paramedizinischem, also nicht-ärztlichem Personal, in Bezug auf die präklinische Sonographie durchgeführt. In einer Studie von Press *et al.*[52], welche 2013 publiziert wurde, wurde die Ausbildung von flugmedizinischem Personal standardisiert und deren Befundergebnisse der eFAST-Untersuchung (extended focused Assessment of Sonography in Trauma) evaluiert. Die Ausbildung der 34 Teilnehmer dauerte 2 Monate und umfasste allgemeine theoretische Unterrichtsinhalte für die Sonographie sowie das Erlernen des Algorithmus mit Untersuchung auf freie abdominelle Flüssigkeit, Perikarderguss und Pneumothorax im Speziellen. Untersucht wurden zunächst gesunde Probanden oder Patienten mit Aszites oder Peritonealdialyse.

In der nächsten Ausbildungsebene wurden Untersuchungen an instabilen traumatologischen Patienten im Rahmen der Versorgung in der Notaufnahme supervidiert. Den letzten Teil der Ausbildung stellte die Evaluation der eFAST Untersuchung an Traumapatienten während der Luftrettung dar. Den im Anschluss an die Ausbildung stattfindenden Abschlusstest absolvierten 33 der 34 Teilnehmer. Auch in Deutschland wäre eine Erweiterung der Ausbildung der Notfallsanitäter in Bezug auf sonographische

Untersuchungen auch unter Einbeziehen von telemedizinischen Maßnahmen denkbar. Ob eine neue Methode wie der präklinische Ultraschall implementiert wird, hängt von der Verhältnismäßigkeit zwischen dem Nutzen und den Kosten ab. Die Kosten gehen über den Anschaffungspreis eines Ultraschallgerätes und der Schulung des Personals hinaus. Verzögert sich ein Transport, so steht dieses Rettungsmittel anderen Einsätzen nicht zur Verfügung. Entsprechende Kapazitäten müssen vorgehalten werden und lassen sich schwer beziffern.

In unserem Studienkollektiv ließen sich durch die Ultraschalluntersuchung in 68% der Fälle zusätzliche, differentialdiagnostisch hilfreiche Informationen gewinnen. In 25% der Fälle ergaben sich therapeutische Konsequenzen wie die Gabe von Vasodilatoren, Diuretika oder der Beginn einer Antikoagulation. Das therapiefreie Intervall ließ sich in diesen Fällen verkürzen. Trotz des Nachweises einer Perikardtamponade oder einer Rechtsherzbelastung wurde in unserer Studie außerklinisch auf die Durchführung einer Perikardpunktion oder einer Thrombolyse verzichtet, da der Zustand der Patienten dies zuließ und innerklinisch die Diagnostik vertieft werden kann und Komplikationen besser beherrschbar sind.

Sollte eine präklinische Ultraschalldiagnostik implementiert werden, würde sich der Nutzen auch auf traumatologische Patienten z.B. für die Triage durch den p-FAST Algorithmus erweitern.

Es gibt aber auch Bemühungen, die kardiopulmonale Reanimation und somit das Outcome dieser Patienten durch den Einsatz von präklinischem Herzultraschall zu verbessern. In einer 2010 veröffentlichten prospektiven Studie von Breitzkreutz *et al.* wurden 230 Patienten mit Pulslosigkeit oder kritischem Zustand fokussiert echokardiographisch nach dem FEEL-Algorithmus evaluiert.[7] FEEL steht für „Focused echocardiographic evaluation in life support“. Ziel des FEEL-Algorithmus ist die Detektion von therapierbaren Ursachen für einen Herzstillstand oder einen kritischen Zustand. Zu den behandelbaren Ursachen gehören Perikardtamponade, Lungenarterienembolie, Linksherzversagen, Hypovolämie oder feinschlägiges Kammerflimmern. Die speziell geschulten Notärzte verwendeten ein „hand held“- Ultraschalldevice. Die Echokardiographie durfte während der Reanimation

lediglich 10 Sekunden in Anspruch nehmen. Untersucht wurde im subxyphoidalen, parasternalen und/oder apikalem Schnitt. Die Patienten waren entweder reanimationspflichtig (n=100) oder befanden sich in einem „peri-resuscitation“-Zustand. Ein „peri-resuscitation“-Zustand wurde definiert als schwere Hypotonie, akute schwere Dyspnoe, Zyanose oder SpO<sub>2</sub> < 92%, reduzierte Vigilanz oder Herzfrequenz > 100 oder < 60/min. In dieser Patientenpopulation wurde mit Hilfe der Echokardiographie in 51% der Fälle eine kardiale und/oder behandelbare Ursache für den Zustand detektiert. So wurde in 4 Fällen ein relevanter Perikarderguss festgestellt. In 2 Fällen erforderte der klinische Zustand eine Perikardpunktion am Einsatzort. Bei 5 Patienten wurde eine pulmonalarterielle Embolie suspiert.

In der Subgruppe der Patienten unter kardiopulmonaler Reanimation (n=100) wurde in 51% der Fälle nach dem Schreiben eines EKGs und der körperlichen Untersuchung der V.a. eine pulslose elektrische Aktivität (PEA) gestellt. In 25% dieser Fälle konnte echokardiographisch keine Wandbewegung des Myokards festgestellt werden. Die Autoren beschreiben diesen Zustand als „true-PEA“. Bei 75% der Patienten mit einer vermuteten PEA (n=38) konnte echokardiographisch Myokardbewegung nachgewiesen werden. In diesen Fällen sprechen die Autoren von einer „pseudo-PEA“. Bei den Patienten mit „pseudo-PEA“ wurde echokardiographisch in 59% der Fälle eine hochgradig reduzierte LV-Funktion, in 9,8% der Fälle eine Perikardtamponade und in 7,8% der Fälle eine Rechtsherzbelastung bei möglicher Lungenarterienembolie nachgewiesen. Die frühe Mortalität dieser beiden Patientengruppen unterschied sich signifikant. 92% der Patienten mit einer „true-PEA“ verstarben noch am Einsatzort, wohingegen 55% der Patienten mit einer „pseudo-PEA“ mindestens bis zur Einlieferung in ein Krankenhaus überlebten.

Die Wahrscheinlichkeit nach einem außerklinischen Herzstillstand lebend aus dem Krankenhaus entlassen zu werden ist gering. Aus einer deutschen Registerstudie aus dem Jahr 2011 mit 2330 Patienten ergibt sich eine Entlassungsquote aus dem Krankenhaus von 15,4%. [49] In einer großen, europaweiten Analyse an 18100 reanimierten Patienten beträgt der Anteil der aus dem Krankenhaus entlassenen Patienten 10,7%. [4] Das neurologische

Outcome wird nicht konkret analysiert. Aus diesen und ähnlichen Daten erwächst die Notwendigkeit für eine bessere Patientenversorgung und die Morbidität sowie die Mortalität zu verbessern. Aus den europäischen Reanimationsleitlinien ergeben sich vielschichtige Empfehlungen sowohl in der Behandlung der Akutsituation als auch in der weiterführenden Versorgung. Hierzu gehört die Betonung der Thoraxkompression. Die Bedeutung der endotrachealen Intubation wird herabgesetzt. Zudem wird einer Ultraschalluntersuchung während der Reanimation für die Detektion einer reversiblen Ursache ein relevanter Stellenwert zu gesprochen.[50]

Zusammenfassend halten wir weitere Studien mit größerem Patientenkollektiv und einer höheren Anzahl von Untersuchern mit unterschiedlichem Erfahrungsgrad für erforderlich, um die Verlässlichkeit des p-CHEST Algorithmus zu beurteilen. Auf diese Weise könnte insbesondere in Flächenländern mit erhöhten Transportzeiten die präklinische Versorgung von Notfallpatienten optimiert werden.

## 5. Zusammenfassung

Gegenstand der Studie ist die Evaluation des p-CHEST Algorithmus, einer präklinischen thorakalen Notfallsonographie bei internistischen Patienten mit Dyspnoe und/oder Thoraxschmerz. Im Rahmen dieser Pilotstudie wurden im Zeitraum zwischen Oktober 2008 und April 2009 im Einsatzgebiet des Rettungsdienstes Mittelhessen 56 Patienten mit einem tragbaren Ultraschallgerät (SonoSite, Micromaxx) untersucht. Der Algorithmus erwies sich mit seinen 5 Standardschnitten als einfach in der Handhabung und ließ sich mit einer durchschnittlichen Dauer von 2 Minuten problemlos in den einsatztaktischen Ablauf integrieren. Die Untersuchung wurde sowohl am Einsatzort als auch während des Transportes durchgeführt. Die Befundqualität ist verlässlich und es ließen sich in 68% (n=38) der Fälle konkrete zusätzliche Informationen zu differentialdiagnostischen Überlegungen gewinnen. Die Ultraschalluntersuchung diente der Detektion von Pleura- und Perikardergüssen, einer Rechtsherzbelastung, eines Pneumothorax und einer eingeschränkten LV-Funktion. Durch die Ultraschalluntersuchung ließen sich akute z.T. lebensbedrohliche Erkrankungen wie kardiale Dekompensation, Lungenarterienembolie, Pneumothorax oder Perikardtamponade nachweisen oder ausschließen. Besonders hilfreich scheint der Algorithmus für das Diskriminieren von linkskardialer Dekompensation und exazerbierter COPD. In 25% (n=14) der Fälle ergaben sich therapeutische Konsequenzen beispielsweise für die Behandlung mit Vasodilatoren oder diuretischer Medikamente, einer Antikoagulation oder für das Volumenmanagement. Ziel der Notfallsonographie ist das Verkürzen des therapiefreien Intervalls für eine Optimierung der Versorgung von Patienten mit Dyspnoe und/oder Thoraxschmerz.

Limitierend für die Aussagekraft dieser Pilotstudie ist das kleine Patientenkollektiv. Zudem erfolgte die Notfallsonographie durch 4 erfahrene Internisten. Zusammenfassend erachten wir weitere Studien mit einem größeren Patientenkollektiv und einer höheren Anzahl an Untersuchern mit unterschiedlichem Erfahrungsgrad, gegebenenfalls auch mit nicht-ärztlichem Personal, für erforderlich, um die Verlässlichkeit des p-CHEST Algorithmus zu bestätigen.



## 6. Englische Zusammenfassung

**Purpose:** To examine the feasibility and diagnostic value of a novel preclinical chest ultrasound algorithm in dyspnoeic patients. **Patients and methods:** Between October 2008 and April 2009, 56 patients (29 male, 27 female, mean age 67.3 years, range 20-90) with acute dyspnoea (breathing rate > 20/min) underwent chest sonography with a portable ultrasound device (SonoSite, Micromaxx). The algorithm included 5 sectional views (4 chamber subxyphoidal view, left and right laterodorsal view of the chest wall, left and right anterior intercostal space view) screening for pleural and pericardial effusion, right heart distension, and pneumothorax. The preclinical sonographic findings were confirmed by chest x-ray, ultrasonography and clinical follow-up in the emergency room. **Results:** Ultrasound was performed on scene (65%) and in the ambulance car (35%). The mean time for the algorithm took 2.0 minutes (range 1-5 minutes). The most common diagnoses associated with acute dyspnoea were 1) acute coronary syndrome (ACS) (n = 12, 21%), 2) congestive heart failure (CHF) (n=11, 20%) and chronic obstructive pulmonary disease (COPD) (n = 10, 18%). Pleural effusion was detected in 100% of patients with CHF, 17% of ACS and 20% of COPD patients constituting the most helpful parameter in differential diagnosis. Ultrasonography provided a helpful tool in n = 38, 68%, and additional therapeutic consequences were drawn in n = 14, 25%. **Conclusion:** We present a novel preclinical chest ultrasound algorithm for the management of dyspnoeic patients, in particular for differential diagnosis of CHF, COPD and ACS.

## 7. Literaturverzeichnis

1. Agricola E, Bove T, Oppizzi M, Marino G, Zangrillo A, Margonato *et al.* "Ultrasound comet-tail images": a marker of pulmonary edema: a comparative study with wedge pressure and extravascular lung water. *Chest* 2005; 127:1690-5
2. Alrajab S. Pleural ultrasonography versus chest radiography for the diagnosis of pneumothorax: review of the literature and meta-analysis. *Critical Care* 2013, 17:R208
3. Al-Shaksi S. Models of international Emergency Medical Service Systems. *Oman Med J.* 2010 Oct.;25(4):320-3
4. Atwood C, Eisenberg MS, Herlitz J, Rea TD. Incidence of EMS treated out-of-hospital cardiac arrest in europe. *Resuscitation* 2005;67:75-80
5. Bledsoe BE, Anderson E, Hodnick R, Johnson L, Johnson S, Dievendorf E. Low-fractional oxygen concentration continuous positive airway pressure is effective in the prehospital setting. *Prehosp. Emergency Care* 2012 Apr.Jun;16(2):217-21
6. Boulanger BR, Kearney PA, Brenneman FD, Tsuei B, Ochoa J. Utilization of FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma) in 1999: results of a survey of North American trauma centers. *Am Surg* 2000;66:1049-1055
7. Breitzkreutz R, Price S, Steiger HV, Seeger FH, Ilper H, Ackermann H *et al.* Focused echocardiographic evaluation in life support and peri-resuscitation of emergency patients: a prospective trial. *Resuscitation* 2010 Nov;81(11):1527-33
8. Brooke M, Walton J, Scutt D. Paramedic application of ultrasound in the management of patients in the prehospital setting: a review of the literature. *Emerg Med J* 2010;27:702-707
9. Brun PM. Stay and play eFAST or scoop and run eFAST. That is the question! *Am J Emerg Med* 2014 Feb; 32(2):166-70
10. Bundesverband Ärztlicher Leiter Rettungsdienst e.V., Anlage 3 Katalog „Invasive Maßnahmen durch Notfallsanitäterinnen und -sanitäter“, Ergebnis des

- Erörterungsgespräches vom 06.02.2014 (Pyramidenprozess) <http://www.bgs-aelrd.de/images/Dokumente/Notfallsanitaeter/anlage%203%20-%20manahmenkatalog.pdf> (abgerufen am 11.05.2015)
11. Bundesverband Ärztlicher Leiter Rettungsdienst e.V. Anlage 4  
Medikamentenkatalog, Ergebnis des Erörterungsgespräches vom 06.02.2014  
(Pyramidenprozess) <http://www.bgs-aelrd.de/images/Dokumente/Notfallsanitaeter/anlage%204%20-%20medikamentenkatalog.pdf> (abgerufen am 11.05.2015)
  12. Bundesverband Ärztlicher Leiter Rettungsdienst e.V. Bericht über die Erörterung  
und Abstimmung zu invasiven Maßnahmen für zukünftige Notfallsanitäterinnen  
und -sanitäter (Pyramidenprozess) vom 15.02.2014 unter <http://www.bgs-aelrd.de/images/Dokumente/Notfallsanitaeter/a6.pdf> (abgerufen am 11.05.2015)
  13. Bundesvereinigung der Arbeitsgemeinschaften der Notärzte e.V., Sektion  
Rettungswesen der Deutschen interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und  
Notfallmedizin, Stellungnahme zur Empfehlung der Bundesärztekammer vom  
20.10.2003 zur Gabe von Analgetika durch Rettungsassistenten/-innen im Rahmen  
der Notkompetenz; 2004 <http://www.band-online.de/download/427.pdf>  
(abgerufen am 12.05.2015)
  14. Cortellaro F, Colombo S, Coen D, Duca PG. Lung ultrasound is an accurate  
diagnostic tool for the diagnosis of pneumonia in the emergency department.  
*Emerg Med J* 2012 Jan;29(1):19-23
  15. Deakin CD. The C-MAC videolaryngoscope for prehospital emergency intubation.  
*Emerg Med. J* 2011 Aug;28(8):643
  16. Der Ausschuss 'Notfall-, Katastrophenmedizin und Sanitätswesen' der  
Bundesärztekammer: Medikamente, deren Applikation im Rahmen der  
Notkompetenz durchgeführt werden kann; Stand Liste 20.10.2003, Stand  
Erläuterung 11.03.2004, unter  
[http://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/](http://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/)

Notfallkompetenz\_Medikamente.pdf (abgerufen am 12.05.2015)

17. Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V.: S3- Leitlinie Nichtinvasive Beatmung als Therapie der akuten respiratorischen Insuffizienz. *Pneumologie* 2008;62; 449-479
18. DIN EN 1789:2010-2011, Typ C. Rettungsdienstfahrzeuge und deren Ausrüstung
19. DRK Rettungsdienst Mittelhessen (2015) <https://www.rettungsdienst-mittelhessen.de/wer-wir-sind-was-wir-wollen/> (abgerufen am 20.05.2015)
20. Dulchavsky SA, Hamilton DR, Diebel LN, *et al.* Thoracic ultrasound diagnosis of pneumothorax. *J Trauma* 1999;47:970-971
21. Enghard P, Rademacher S, Nee J, Hasper D, Engert U, Jörres A, Kruse JM. Simplified lung ultrasound protocol shows excellent prediction of extravascular lung water in ventilated intensive care patients. *Crit Care* 2015 Feb 6;19(1):36
22. Fehn K. Zur rechtlichen Zulässigkeit einer arztfreien Analgosedierung im Rettungsdienst. Teil 2 Analgosedierung mittels Morphin beim akuten Koronarsyndrom. *Notarzt* 2009;25:1-10
23. Ferrer M, Esquinas A, Leon M, Gonzalez G, Alarcon A, Torres A. Noninvasive ventilation in severe hypoxemic respiratory failure: a randomized clinical trial. *Am J Respir Crit Care Med.* 2003 Dec 15;168(12):1438-44
24. Fonseca C, Morais H, Mota T, *et al.* The diagnosis of heart failure in primary care: value of symptoms and signs. *Eur J Heart Fail* 2004;6:21-22
25. Garrett PD, Boyd SY, Bauch TD, *et al.* Feasibility of real-time echocardiographic evaluation during patient transport. *J Am Soc Echocardiogr* 2003;16:197-201
26. Gerrit GK, Petschull A, Frinken J, Behrje F, Breffka G, Kaste F. Leitfaden Handlungsanweisungen für das Rettungsdienstfachpersonal des Landkreises Cuxhaven mit Ihren beauftragten Rettungsdienstorganisationen, Stand 15.12.2013, S. 22-24, unter <http://www.ausbildung-rd-lk-cux.de/wordpress/wp-content/uploads/2013/03/Leitfaden-Handlungsanweisungen.pdf> (abgerufen am 12.05.2015)

27. Greb I, Hartmann H, Wulff H, Kill C. Analgesie beim Extremitätentrauma durch Rettungsdienstfachpersonal. *Notfall Rettungsmed* 2010
28. Häske D, Schempf B, Gaier G, Niederberger C. Prähospital Analgosedierung durch Rettungsassistenten. *Anaesthesist* 2014 Feb.; 63:209-2016 doi 10.1007/s00101-014-2301-3
29. Hansen, HC. Bewusstseinsstörungen und Enzephalopathien: Diagnose, Therapie, Prognose. Kap. 4, Klinische Differentialdiagnostik bei akuten Bewusstseinsstörungen. Springer Verlag, 2013. S. 76-77
30. Hoyer HX, Vogel S, Schiemann U, Haug A, Stolpe E, Michalski T. Prehospital ultrasound in emergency medicine: incidence, feasibility, indications and diagnoses. *Eur J Emerg Med* 2010; 17:254-259
31. Jaspers N, Michels G. Sonographie – organ- und leitsymptomorientiert. Springer Verlag, 2012. S. 2-11
32. Jerrentrup A, Ploch T, Kill C. CPAP im Rettungsdienst bei vermutetem kardiogenen Lungenödem. *Notfall Rettungsmed* 2009;12:607-612
33. Kataoka H. Pericardial and pleural effusions in decompensated chronic heart failure. *Am Heart J* 2000;139:918-923
34. Kataoka H, Takada S. The role of thoracic ultrasonography for evaluation of patients with decompensated chronic heart failure. *J Am Coll Cardiol* 2000;35:1638-1646
35. Ketelaars R. Prehospital chest ultrasound by a dutch helicopter emergency medical service. *Emerg Med J* 2012;7 Vol. 44;4:811-817
36. Kill C, Risse J, Wallo P, Seidel P, Steinfeldt T, Wulf H. Videolaryngoscopy with glidescope reduces cervical spine movement in patients with unsecured cervical spine. *J Emerg Med.* 2013; Apr;44(4):750-6
37. Köhnlein T, Windisch W, Köhler D, Drabik A, Geiseler J, Hartl S *et al.* Non-invasive positive pressure ventilation for the treatment of severe stable chronic obstructive pulmonary disease: a prospective, multicentre, randomised, clinical trial. *Lancet Respir Med* 2014; 2(9):698-705

38. Landesärztekammer Hessen, Weiterbildungsordnung vom 01.11.2005  
[https://www.laekh.de/fron\\_content.php?idcatart=1372&client=1&lang=1](https://www.laekh.de/fron_content.php?idcatart=1372&client=1&lang=1)  
(abgerufen am 20.05.2015)
39. Lichtenstein D, Goldsetin I, Mourgeon E, Cluzel P, Grenier P, Rouby JJ: Comparative performances of auscultation, chest radiography and lung ultrasonography in acute respiratory distress syndrome. *Anaesthesiology* 2004 Jan;100(01):9-15
40. Lubrich F. Das neue Notfallsanitättergesetz: Mehr Rechtssicherheit für Rettungsfachpersonal? *MedR* 2013, Heft 4;S.221-228
41. Luecke T, Pelosi P. Clinical review: Positive end-expiratory pressure and cardiac output. *Crit Care* 2005;9:607-621
42. Mandavia DP, Hoffner RJ, Mahaney K, Henderson SO. Bedside echokardiography by emergency physicians. *Ann Emerg Med* 2001;38:377-382
43. Masip J, Roque M, Sanchez B, Fernandez R, Subirana M, Exposito JA. noninvasive Ventilation in acute cardiogenic pulmonary edema: systematic review an meta-analysis. *JAMA* 2005 Dec.28; 294(24):3124-30
44. Mathis G, Blank W, Reissig A, *et al.* Thoracic ultrasound for diagnosing pulmonary embolism: a prospective multicenter study of 352 patients. *Chest* 2005;128:1531-1538
45. McLaughlin R, Collum N, McGovern S, Martyn C, Bowra J. Emergency department ultrasound (EDU): clinical adjunct or plaything? *Emerg Med J* 2005;22:333-335
46. McMurry JV, Adamopoulos S, Anker SD, Auricchio A, Böhm M, Dickstein K *et al.* ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2012. *eurheartj* 2012; 33, 1789-1847
47. Miglioranza M. Lung Ultrasound for the evaluation of pulmonary congestion in outpatients: a comparison with clinical assessment, natriuretic peptides and echocardiography. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013;6(11):1141-51
48. Miniati M, Monti S, Pratali L *et al.* Value of transthoracic echocardiography in the diagnosis of pulmonary embolism: results of a prospective study in unselected

- patients. *Am J Med* 2001;110:528-535
49. Neukamm J, Gräsner JT, Schewe JC, Breil M, Bahr J, Heuster U *et al.* The impact of response time reliability on CPR incidence and resuscitation success: a benchmark study from the German Resuscitation Registry. *Crit Care* 2011;15(6):R282
  50. Nolan JP, Soar J, Zidermann DA, Biarent D, Bossaert LL, Deakin C *et al.*: European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2010 Section 1 Executive summary. *Resuscitation* 2010;81(10):1219-1276
  51. Popescu BA, Stefanidis A, Nihoyannopoulos P, Fox KF, Ray S, Cardim N *et al.* Updated standards and processes for accreditation of echocardiographic laboratories from the European Association of Cardiovascular Imaging: an executive summary. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2014 Nov;15(11):188-93
  52. Press M. Evaluation of a training curriculum for prehospital trauma ultrasound. *Emerg Med J* 2013;5 Vol. 45;6:856-864
  53. Reissig A, Kroegel C. Accuracy of transthoracic sonography in excluding postinterventionel pneumothorax and hydropneumothorax. Comparison to chest radiography. *Eur J Radiol* 2005;53:463-470
  54. Reissig A, Kroegel C. Transthoracic ultrasound of lung and pleura in the diagnosis of pulmonary embolism: a novel non-invasive bedside approach. *Respiration* 2003;70:441-452
  55. Reissig A, Porner T, Hocke M, Kroegel C. Transthoracic ultrasound in the diagnosis of cough, dyspnea and chest pain. *Pneumologie* 2007;61:20-36
  56. Rudski LG, Lai WW, Afilalo J *et al.* Guidelines for the echocardiographic assessment of the right heart in adults: a report from the American Society of Echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr* 2010;23:685-713
  57. Sankoff J, Keyes LE. Emergency medicine resident education. making a case for training residents to perform and interpret bedside sonographic examinations. *Ann Emerg Med* 1999;34:105-108
  58. Scalea TM, Rodriguez A, Chiu WC, *et al.* Focused Assessment with Sonography for

- Trauma (FAST): results from an international consensus conference. *J Trauma* 1999;46:466-472
59. Schmiedel R, Behrendt H. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Mensch und Sicherheit, Heft M217: Leistungen des Rettungsdienstes 2008/09. 2010, S. 20, S 43
  60. Seamon MJ, Doane SM, Gaughan JP, Kulp H, D'Andrea AP *et al.* Prehospital interventions for penetrating trauma victims: a prospective comparison between Advanced Life Support und Basic Life Support. *Injury* 2013 May;44(5):6348
  61. Silvestri S, Ralls GA, Krauss B, Thundiyil J, Rothrock SG, Senn A *et al.* The effectiveness of out-of-hospital use of continuous end-tidal carbon dioxide monitoring on the rate of unrecognized misplaced intubation within regional emergency medical service system. *Ann Emerg Med* 2005 May;45(5):497-503
  62. Steiner P, Steiner L, Steiner GK, Debatin JF *et al.* Acute pulmonary embolism : value of transthoracic and transoesophageal echocardiography in comparison with helical CT. *Am J Roentgenol* 1996;167:931-936
  63. Stellungnahme der Bundesärztekammer zum Referentenentwurf der Bundesregierung „Entwurf eines Gesetzes über den Beruf der Notfallsanitäterin und des Notfallsanitäters sowie zur Änderung des Hebammengesetzes“ vom 21.06.2012  
[http://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/StellBAeK\\_NotSanG\\_21062012.pdf](http://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/StellBAeK_NotSanG_21062012.pdf) (abgerufen am 11.05.2015)
  64. Stellungnahme der Bundesärztekammer zur Notkompetenz von Rettungssassistenten und zur Delegation ärztlicher Leistungen im Rettungsdienst; Stand 02.11.1992 unter  
[http://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user\\_upload/downloads/BAEK\\_Stellungnahme\\_Rettungssassistenten.pdf](http://www.bundesaerztekammer.de/fileadmin/user_upload/downloads/BAEK_Stellungnahme_Rettungssassistenten.pdf) (abgerufen am 12.05.2015)
  65. Targhetta R. Echography of pneumothorax. *Rev Mal respir* 1990 7(6):575-9
  66. Timmermann A, Braun U, Panzer W, Schlägner M, Schnitzker M und Graf BM. Out-



- of-hospital airway management in northern Germany. Physician-specific knowledge, procedures and equipment. *Anaesthetist* 2007 Apr.;56(4):328-34
67. Walcher F, Weinlich M, Conrad G, *et al.* Prehospital ultrasound imaging improves management of abdominal trauma. *Br J Surg* 2006;93:238-242
  68. Wang CS, FitzGerald JM, Schulzer M, Mak E, Ayas NT. Does the dyspnoeic patient in the emergency department have congestive heart failure? *JAMA* 2005;294:1944-1956
  69. Weber JE. Prehospital thrombolysis in acute stroke: results of the PHANTOM-S pilot study. *Neurology* 2013 Jan;80(2):163-8
  70. Zechner PM, Seibel A, Aichinger G, Steigerwald M, Scheiermann P, Schellhaas S *et al.* Lungensonographie in der Akut- und Intensivmedizin. *Anaesthetist* 2012 Jul;61(7):608-617
  71. Zehtabchi S, Brandler ES. Evidence-based emergency medicine/rational clinical examination abstract. Does this patient have congestive heart failure? *Ann Emerg Med* 2008;51:87-90
  72. Zentrum für Notfallmedizin Universitätsklinikum Marburg Leistungsbericht 2011/2012  
[https://www.ukgm.de/ugm\\_2/deu/umr\\_not/PDF/Leistungsbericht\\_ZNotMed\\_2011\\_12.pdf](https://www.ukgm.de/ugm_2/deu/umr_not/PDF/Leistungsbericht_ZNotMed_2011_12.pdf) (abgerufen am 20.05.2015)
  73. Ziegenfuß, Th. Notfallmedizin. Kap. 8, Störung der Vitalfunktion Atmungssystem. Springer Verlag, 2007. S. 208-222
  74. Ziegler CM, Seitz K, Leicht-Biener U, Mauch M. Detection of therapeutically relevant diagnoses made by sonography of the upper abdomen: portable versus high-end sonographic units – a prospective study. *Ultraschall Med* 2004;25:428-432

## 8. Anhang

### 8.1 Erfassungsbogen

Notarzt:

Datum:

Initialen:

Geburtsdatum:

Größe:

Gewicht:

Untersuchungsdauer:

Schallqualität: ☐ gut ☐ mäßig ☐ schlecht

Durchführung der Sonographie: ☐ am Einsatzort ☐ im RTW

Lage während der Untersuchung: ☐ sitzend ☐ liegend

Pleuraerguss: rechts: ☐ ja ☐ nein links: ☐ ja ☐ nein

wenn ja, punktionswürdig: rechts: ☐ ja ☐ nein links: ☐ ja ☐ nein

Pneumothorax: rechts: ☐ ja ☐ nein links: ☐ ja ☐ nein

Perikarderguss: ☐ ja ☐ nein

wenn ja: ☐ komprimierend ☐ nicht komprimierend

Ejektionsfraktion: ☐ größer 50% ☐ kleiner 50%

Rechtsherzbelastung: ☐ ja ☐ nein

Bemerkungen:

## 8.2 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1: B-Linien

Abb. 2: Pleuragleiten in der Lungensonographie

Abb. 3: „Seashore-sign“

Abb. 4: Lungenpuls

Abb. 5: Stratosphären-Zeichen

Abb. 6: Lungenpunkt

Abb. 7: Darstellung des Ultraschallgerätes Micromaxx der Firma SonoSite

Abb. 8: Schallköpfe

Abb. 9: Darstellung der Schnittebenen des p-CHEST Konzeptes

Abb. 10: Laterodorsaler Brustwandschnitt rechts

Abb. 11: Laterodorsaler Brustwandschnitt links

Abb. 12: Pleuraerguss rechts

Abb. 13: Pleuraerguss links

Abb. 14: parapneumonischer Erguss mit Bronchoaerogramm

Abb. 15: subxyphoidaler 4-Kammerblick

Abb. 16: Rechtsherzbelastung

Abb. 17: Darstellung eines Perikardergusses

Tab. 1: Verteilung des Einsatzfahrtaufkommens in der Bundesrepublik Deutschland 2008/09  
nach Einsatzanlass, Auszug

Tab. 2: Gegenüberstellung der verwendeten Schallköpfe

Tab. 3: Zusammenstellung der erhebbaren Befunde des p-CHEST Algorithmus

Diag. 1: Werteverteilung mittels Boxplot

Diag. 2: Werteverteilung der Dauer des p-CHEST Algorithmus

Diag. 3: Bewertung der Befundqualität

Diag. 4: Gegenüberstellung der Ursache der Dyspnoe und/oder Thoraxschmerz nach  
Genese

Diag. 5: Häufigkeit des Auftretens von Pleuraergüssen entsprechend der klinischen  
Diagnose

Diag. 6: Vergleich zwischen p-CHEST und Röntgen Thorax in Bezug auf Pleuraergüsse

Diag. 7: Korrelation zwischen Ultraschallbefund und diagnostischem Nutzen

### 8.3 Abkürzungsverzeichnis

Abb.:	Abbildung
ACS:	acute coronary syndrome
ÄLRD:	Ärztlicher Leiter Rettungsdienst
BMI:	Body-Mass-Index
B-Mode:	Brightness Mode, Brightness Modulation
CHF:	congestive heart failure
CPAP:	continous positive airway pressure
COPD:	chronic obstructive pulmonary disease
CT:	Computertomographie
cw-Doppler:	continous wave Doppler
Diag.:	Diagramm
DIN:	Deutsches Institut für Normung
eFAST:	extended focused assessment of sonography in trauma
EKG:	Elektrokardiogramm
e.V.:	eingetragener Verein
FAST:	focused assessment of sonography in trauma
FEEL:	focused echocardiographic evaluation in life support
GG:	Grundgesetz
ggf.:	gegebenenfalls
HRDG:	hessisches Rettungsdienstgesetz
IE:	internationale Einheiten
ICR:	Interkostalraum
kg:	Kilogramm
KG:	Körpergewicht
LV-Funktion:	linksventrikuläre Funktion
M-Mode:	Motion Mode

n:	Anzahl
NAW:	Notarztwagen
NEF:	Notarzteinsatzfahrzeug
NotSanG:	Notfallsanitättergesetz
NT-proBNP:	N-terminales Propeptid des B-type natriuretic Peptide
p-CHEST:	Prehospital Sonography of the Chest
PEEP:	postive endexpiratory pressure
P-FAST:	Prehospital Focused Assessment of Sonography in Trauma
pw-Doppler:	pulsed wave Doppler
RettAssG:	Rettungsassistentengesetz
RTW:	Rettungswagen
STEMO:	Stroke-Einsatz-Mobil
Tab:	Tabelle

## 8.5 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren Damen/ Herren in Marburg:

Adamkiewicz, Basler, Baum, Cordes, Daut, Eberhart, Ellenrieder, Feuser, Fuchs-  
Winkelmann, Gerdes, Görg, Grundmann, Grzeschik, Hertl, Hoyer, Jerrentrup, Kill, Klose,  
Koolmann, Krieg, Kroll, Krüger, Lill, Lohoff, Maier, Maisch, Mandrek, Martin, Maschuw,  
Moll, Morin, Mueller, Mutters, Neubauer, Neumüller, Oertel, Opitz, Plant, Renz, Richter,  
Riße, Roeper, Röhm, Rolfes, Ruchholtz, Schade, Schäfer, Schmidt, Schnabel, Schrader,  
Stiller, Tibesku, Vassiliou, Vogelmeier, Wagner, Werner, Wündisch, Wulf, Zentgraf

## 8.6 Danksagung

Eine Dissertation ist nie das Werk einer einzelnen Person, deshalb möchte ich mich bei allen Personen herzlichst bedanken, die mich bei der Erstellung dieser wissenschaftlichen Ausarbeitung unterstützt haben.

Herrn Prof. Dr. med. T. Gress danke ich für die Überlassung des Themas und für seine Unterstützung und Anregungen in der Gestaltung dieser Arbeit.

Herrn PD Dr. med. Steffen Kunsch und Herrn PD Dr. Dr. med. Albrecht Neeße danke ich für ihre fachlichen Anregungen und wertvollen Kritiken, die essentiell für die Erstellung dieser Arbeit waren.

Ferner danke ich den Studienpatienten, den rekrutierenden Notärzten und den Mitarbeitern des Rettungsdienstes Mittelhessens, die durch ihr stetiges Interesse an der Verbesserung der Patientenversorgung die Durchführung der Studie unterstützt haben, sowie allen anderen Mitarbeitern der Klinik für Inneren Medizin mit Schwerpunkt Gastroenterologie, Endokrinologie und Stoffwechsel, Marburg, die an der Entstehung dieser Arbeit beteiligt waren.

Weiterhin möchte ich mich bei den Ärzten Frau PD Dr. med. Caroline Rolfes, Herrn Prof. Dr. med. Jürgen Schäfer, Herrn Dr. med. Andreas Jerrentrup und Herrn PD Dr. med. Clemens Kill für ihr begeisterndes Engagement in der Lehre und Patientenversorgung in der Notfall- und Intensivmedizin bedanken. Dieser Funke begleitet mich weiterhin bei meiner täglichen Arbeit und lässt mich dadurch häufig an meine Alma mater zurückdenken.

Ganz besonders möchte ich auch meiner Mutter Frau Margrit Hoffmann, meiner Patentante Frau Karin Lenz und meinen Großeltern danken, die meine Ausbildung



ermöglicht und mich und meine Geschwister trotz vieler Widrigkeiten immerwährend unterstützt, ermutigt und inspiriert haben.

Meinem Lebensgefährten Herrn Benjamin Granzow danke ich von ganzem Herzen zum Einen für seine liebevolle und umfassende Unterstützung und sein Verständnis in herausfordernden Zeiten, aber auch für zahlreiche konstruktive interdisziplinäre Diskurse, die das Entstehen der Arbeit und deren Gestaltung umfassend gefördert haben.

## 8.7 Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel: „Durchführbarkeit präklinischer Sonographie bei Patienten mit Luftnot und Thoraxschmerz im bodengebundenen Rettungsdienst im Landkreis Marburg/Biedenkopf“ in der Klinik für Innere Medizin mit Schwerpunkt Gastroenterologie, Endokrinologie und Stoffwechsel unter der medizinischen Leitung von Prof. Dr. Mathias T. Gress mit Unterstützung durch PD Dr. med. Steffen Kunsch ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher an keinem in- oder ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Dissertation eingereicht, noch die vorliegende oder andere Arbeit als Dissertation vorgelegt. Die vorliegende Arbeit wurde im „European Journal of Emergency Medicine“ veröffentlicht.

Datum, Ort, Unterschrift